



EESTI MAAÜLIKOOL

Tartu Tehnikakolledž

Jagnar Roosimägi

**AUTONOOMNE PINDLIITEKOMPONENDI
TRÜKKPLAADI ROBOTISEERITUD
ÜMBERTÖÖTLEMISRAKK**

**AUTOMATED SMT COMPONENT PCB REWORK WITH
ROBOT CELL**

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö

Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: Indrek Virro, *MSc*

Tartu 2020

Eesti Maaülikool		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö	
Fr.R.Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Jagnar Roosimägi		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: Autonoomne pindliitekomponendi trükkplaadi robotiseeritud ümbertöötlemiserakk			
Lehekülgi: 71	Jooniseid: 28	Tabeleid: 3	Lisasid: 4
Osakond: Tartu Tehnikakolledž			
Uurimisvaldkond:			
ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika			
ETIS teaduseriala: 4.13. Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia			
Juhendaja: Indrek Virro			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2020			
<p>Diplomitöö idee tulenes sellest, et PCBA tootmisettevõtetel on parandusosakondadel väga suur koormus. Seal teostatakse siiani parandusi trükkplaadil manuaalselt, mis on ajakulukas ja mille tõttu kannatavad tarneajad. Töö eesmärgiks on projekteerida automaatselt trükkplaadil komponente vahetav seade, mis lihtsustab trükkplaadikooste tootvas ettevõttes vigaste plaatide parandamist. Majandustegevus on üldise eesmärgi suhtes vajalik, aga kuna antud diplomitöö eesmärgi saavutamine sellest väga ei sõltu, siis sellest räägitakse töös vähesel määral. Kõige suurem rõhk töös on elektroonikal, mis hõlmab seadme- ja samm-mootorite juhtmooduli projekteerimist ning selle komponentide ja funktsionaalsuse testimist. Teine suurem osa tööst on prototüübi mehaanika projekteerimine. Seal kajastatakse seadme mehaaniliste sõlmede projekteerimist. Diplomitöö käsitleb ka seadme kasutajaliidese tarkvaralist lahendust ja seadme juhtmooduli tarkvaraliste sõlmede kaardistamist. Edasiarendusena koostatakse prototüüp ja luuakse seadme juhtmoodulile tarkvara, peale mida masinat katsetakse PCBA tootmisettevõttes.</p>			
Märksõnad: PCBA tootmine, PCBA parandus, samm-mootorite juhtimine, PCBA testimine.			

Estonian University of Life Sciences Fr.R.Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional Higher Education Thesis	
Author: Jagnar Roosimägi		Curriculum: Technotronics	
Pealkiri: Automated SMT component PCB rework with robot cell			
Pages: 71	Figures: 28	Tables: 3	Appendixes: 4
Department: Tartu Tehnikakolledž Field of research: ETIS category: 4. Natural Sciences and Engineering ETIS speciality: 4.13. Mechanical Engineering, Automation Technology and Manufacturing Technology Supervisor: Indrek Virro Place and date: Tartu, 2020			
<p>The idea for this project came out of the problem that PCBA manufacturing companies have a lot of work at repair cell, which is because today they are still fixing failed PCBA's manually. This is very time consuming and will cause delays in delivery times. Aim of this project is to create machine that can automatically repair components on PCB. This is going to reduce heavy load at repair cell and make repair process much easier. Economical part is important, however not very important to achieve goals of this project. Because of that economical part is described minimally. In this work most covered topic was electronics, which included main- and stepper control unit design, testing PCBAs components and testing PCBAs functionality. Also important part was mechanical design which talks about designing prototypes mechanical elements. This work also covers creation of operators user interface and mapping software solutions for main control unit. In future plan is to assemble prototype and create software for main control unit. When these steps are done prototype will be tested at PCBA manufacturing company.</p>			
Keywords: PCBA manufacturing, PCBA repair, controlling stepper-motors, PCBA testing.			

LÜHENDITE LOETELU

AOI	-	<i>Automated optical Imaging</i> , Automaatne optiline visuaalkontroll
FCT	-	<i>Functional testing</i> , koostatud trükkplaadi funktsionaalne testimine
FPT	-	<i>Flying probe testing</i> , koostatud trükkplaadi testimine lendnõeltega
ICT	-	<i>In-circuit testing</i> , koostatud trükkplaadi testimine elektriahelas
PCB	-	<i>Printed circuit board</i> , trükkplaat
PCBA	-	<i>Printed circuit board assembly</i> , Koostatud trükkplaat
RS232	-	<i>Recommended Standrad 232</i> , Soovitsulik standard 232 binaarandmete edastamiseks
SMA	-	<i>Surface mount assembly</i> , Pindliite komponentide paigaldamine
SMD	-	<i>Surface mount devices</i> , pindliite komponendid, mille paigaldamiseks
SMT	-	<i>Surface mount technology</i> , pindliite komponentide paigaldamine kasutatakse pindliite komponentide paigaldamise tehnoloogiat
SRAM	-	<i>Static Random Access Memory</i> , Staatiline suvapöördmälu
SWD	-	<i>Serial wire debug</i> , kahe suhtluskanaliga programmeerimisühendus
THT	-	<i>Through hole technology</i> , läbiavakomponendid

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. TUTVUSTUS	7
1.1. PCBA tootmine	7
1.2. Tüüpvead PCBA tootmisel	8
2. LÄHTEÜLESANNE JA ÖKONOOMIKA	9
2.1. Lähteülesanne	9
2.2. Ökonoomika	11
3. PROJEKTEERIMINE JA KOOSTAMINE	12
3.1. Elektroonika	12
3.1.1. Juhtmooduli elektriskeem ja pinnalaotus	12
3.1.2. Samm-mootori juhtmooduli elektriskeem ja pinnalaotus	18
3.1.3. Tellimine ja koostamine	20
3.1.4. Plaatide testimine FPT testsüsteemiga ja funktsionaalsuse testimine.	23
3.2. Mehaanika	30
3.2.1. Seadme komponentide valimine ja tellimine	30
3.2.2. Seadme projekteerimine	32
3.3. Tarkvara	36
3.3.1. Kasutajaliides	36
3.3.2. Juhtmooduli tarkvara	37
4. EDASIARENDUSED	39
4.1. Esimene prototüüp	39
4.2. Teine prototüüp	39
KOKKUVÕTE	40
KASUTATUD KIRJANDUS	41
LISAD	42
Lisa A. Elektroonika tehnilised joonised	43
Lisa B. Mehaanika tehnilised joonised	48
Lisa C. Seadme juhtmooduli testitsükli C-kood	68
Lisa D. Lihtlitsents	71

SISSEJUHATUS

Koostatud trükkplaate tootval ettevõttel on tähtis, et tootmine toimiks sujuvalt ja võimalikult väheste viivitustega, et pidada kinni tarneaegadest ja toimetada tooted klientideni õigeaegselt. PCBA tootmisettevõttes on enamik operatsioone trükkplaadiga teostatud masinatega, mida kontrollivad operaatorid. Sellegipoolest on veel palju manuaalset tööd, millest üritatakse järjest vabaneda.

Antud töös kasutab autor näiteid, mis on saadud töötades Enics Eesti AS tehases elektroonilise parandajana, testiinsenerina ja testiarendusinsenerina. Vigaste toodete hulk, nende parandusaeg ja kuluv ressurss on arvutatud Enics Eesti AS 2019 aasta andmete põhjal.

Lõputöö eesmärk on projekteerida automaatselt trükkplaadil komponente vahetav seade. Lõputöö eesmärgi saavutamiseks vajalikud ülesanded:

1. Koostada tegevuskava ja mõelda läbi majandustegevus;
2. Tellida vajalikud masinaosad, et projekteerida mehaanika ja elektroonika;
3. Projekteerida, koostada ja katsetada mikrokontrolleri baasil masina juhtmoodul ja masina telgesid liigutavate samm-mootorite juhtmoodul;
4. Projekteerida prototüübi mehaanika;
5. Kaardistada tarkvaralised lahendused;

Idee tuli autoril trükkpladikooste tootvas ettevõttes töötades ja nähes, kui suur on koostatud trükkplaatide parandusosakonna koormus. Ideest sai ettevõttes räägitud erinevate osakonnajuhtidega ja nendepoolne tagasiside oli positiivne.

Esimeses peatükis antakse ülevaade PCBA tootmisest. Teises peatükis kirjeldatakse lähteülesannet ja ökonoomikat. Kolmas peatükk kirjeldab seadme elektroonika projekteerimist, selle koostamist ja testimist, mehaanika projekteerimist ja tarkvara ülesehitust. Neljas peatükk räägib võimalikest prototüübi edasiarendustest ja teise prototüübi ehitamisest. Lisades A ja B asuvad seadme tehnilised joonised. Lisas C on seadme juhtmooduli testitsükli C-kood ja lisas F Lõputöö lihtlitsents.

Mehaanika projekteerimiseks kasutati *Dassault Système* tarkvara *Solidworks* 2019 SP 2.0 versiooni. Trükkplaadi disainimiseks kasutati *Autocad* tarkvara *Eagle* versiooniga 9.2.2.

1. TUTVUSTUS

1.1. PCBA tootmine

Koostatud trükkplaadi tootmine algab trükkplaadist. Üldjuhul Euroopas asuvad PCBA tootmisettevõtted tellivad trükkplaadi sisse, sest ise toota ei tule odavam ja ülejäänud vajalikud etapid tehakse kohapeal.

Plaadi koostamine saab alguse SMA-st, kus paigaldatakse plaadile pindliite komponendid, kasutades automaatselt jootepastat ja kuuma õhku. Sealt liigub plaat edasi SMA liini lõppu, kus on AOI, mis kontrollib joodet, lühiste puudumist ja komponentide olemasolu. Probleemideta tooted liiguvad edasi järgmisesse etappi. Eeldusel, et trükkplaadile on vaja paigaldada THT komponente, viiakse toode käsiladumisesse, kus töötajad paigaldavad need komponendid plaadile ette antud juhendi kohaselt. Paigaldatud THT komponentidega plaat liigub selektiivjootmise masinasse või lainejootmise masinasse, kus jootuvad plaadile THT komponendid. Järgnevalt teostatakse uuesti AOI kontroll või manuaalne visuaalkontroll, et leida üles võimalikud tekkinud vead. Selleks hetkeks on PCBA valmis ja edasised etapid toimuvad vastavalt tootmise enda ja kliendi nõuetele. Üldjuhtudel on järgmine samm testimine, kus üritatakse üles leida võimalikud tekkinud masinlikud või inimlikud vead. Testimisosakonnas testitakse üldjuhul plaate ICT testriga või FPT testriga. ICT testriga testimiseks on igale tootele eraldi rakis. Rakises on testinõelad, mis surutakse testi alguses vastu trükkplaadi kontakte, enamasti testipunktid, kuid vajadusel kasutatakse ka läbiavasid. Pindliitekomponendi kontakte ja THT komponentide jalgu kontakti loomiseks ICTs enamasti ei kasutata, sest see vähendab nõelte eluiga märkimisväärselt. FPT testriga testimisel rakist ei ole vaja, plaat paigutatakse masinasse ja x, y ja z teljes liikuvad nõelad loovad kontakti. FPT enamlevinud masinatel on kasutusel ainult 4-8 lendavat nõela, ICT rakises on vastavalt toote keerukusele tavaliselt 50-1000 fikseeritud testinõela. Nende testide eesmärk on tuvastada lühiseid, puudu olevaid komponente, komponente vale väärtusega, komponente vale polaarsusega, ahela katkestusi ja komponendi mittevastavust ette antud limiitidele. Oletades, et klient soovib oma tootele lakikihti peale, siis peale testimist lakitakse vigadeta tooted. Vigadeta tooted viiakse funktsionaaltesti. Olenevalt tootest võib olla tootega ka toiminguid eelkoostes ja lõppkoostes. Vigadega tooted lähevad elektroonilisesse parandusse, kus otsitakse üles viga. Vea tuvastamisel viiakse tooted mehaanilise parandaja

juurde, kes kõrvaldab puudused ja siis läheb toode uuesti etappi, kus viga ilmnes. Kui kõik etapid on läbitud, väljastatakse toode kliendile.

1.2. Tüüpvead PCBA tootmisel

Kõige suurem ja kulukam viga on, kui SMA liini operaator sisestab vale komponendi rulli ladumismasinasse, mille tagajärjel laotakse trükkplaatidele peale sadu valesid komponente. Üldiselt täiesti vale rulli sisestamist masinasse juhtub väga harva, tõenäolisem on, et eelnevast ladumisest ülejäänud komponentide linnid jätkatakse vale rulli peale ja siis osa toodangut tuleb valedel komponentidega. Hulgaliselt esineb tootmises väiksemaid vigu, kus üksikud komponendid on saanud kahjustuse, komponendid ei ole jootunud, komponendi jalgade vahel on lühis, komponent on vale polaarsusega või komponent on puudu.

2. LÄHTEÜLESANNE JA ÕKONOOMIKA

2.1. Lähteülesanne

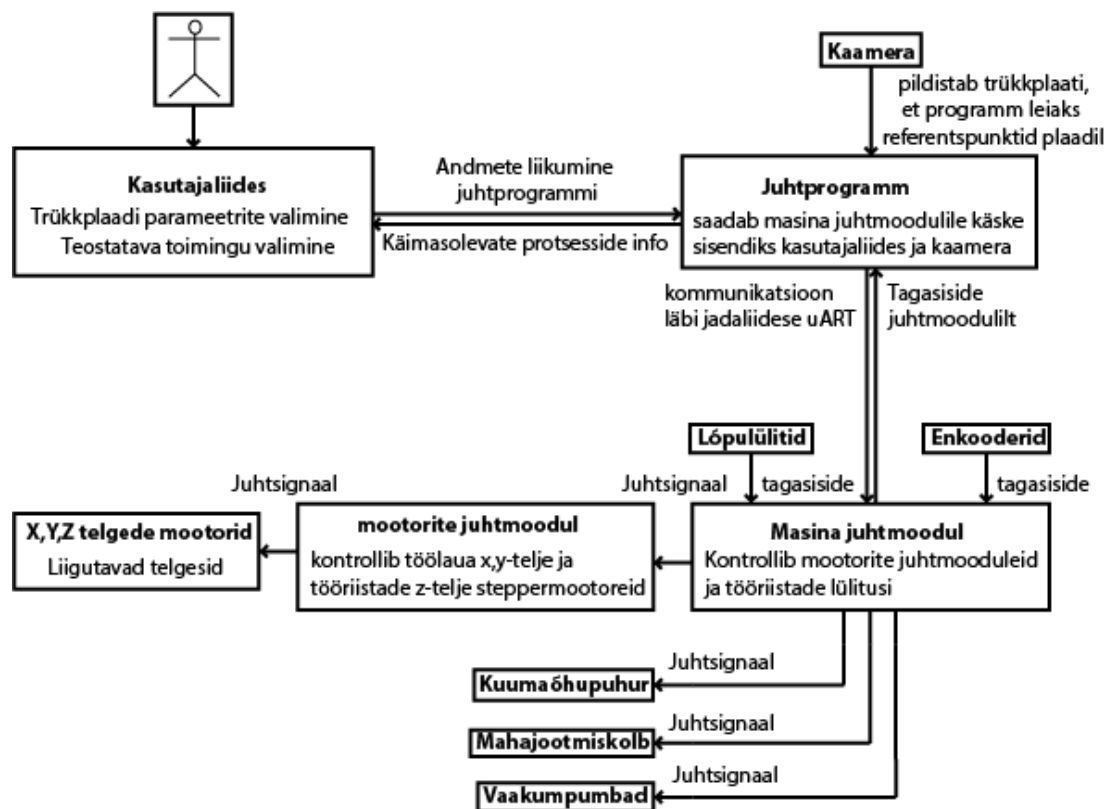
Automaatse PCBA parandusseadme eesmärk on kiiresti ja efektiivselt sooritada komponendi vahetus, paigaldada puudu olev komponent ja keerata ümber vale polaarsusega komponent. Masin peab sooritama antud operatsioone tunduvalt kiiremini, kui inimene, kes teeks seda manuaalselt. Lisaks peab olema masin ka lihtne kasutada, et seda saaks kasutada iga operaator tehases.

Seadme ehituseks vajalikud elemendid:

1. Kuumaõhupuhur;
2. Mahajootekolb;
3. Vaakumtoru;
4. Süstal;
5. Seadme juhtmoodul;
6. Mootorite juhtmoodul;
7. Personaalarvuti;
8. Kaamera;
9. Samm-mootori ja kruvilatti koost, X,Y-telg;
10. Samm-mootori ja kruvilatti koost, Z-telg;
11. Toiteplokk;
12. Lõpulülitid;
13. Enkooderid.

Kuumaõhupuhuri funktsioon on komponendi jalgadel tina sulatamine, et saaks komponenti eemaldada ja jootepasta kuumutamine, et paigaldada komponent. Mahajootekolviga eemaldatakse plaadilt üleliigne tina. Vaakumtoru otsa kinnitub komponent, mis võimaldab liigutada komponent soovitud kohta. Süstla ja vaakumpumba abil paigaldatakse plaadile jootepasta. Seadme juhtmoodul kontrollib tööriistade lülitust ja Samm-mootoreid, mis liigutavad töölauda X,Y teljes ja tööriistu Z teljes. Lõpulülitid ja enkooderid on vajalikud tagasiside jaoks, et oleks teada töölauda ja tööriistade asukoht. Kogu süsteemi toidab 12v toideplokk maksimaalse vooluga 20A. Kasutajaliidese jaoks on kasutusel personaalarvuti,

mis ühendub seadme külge. Kasutajaliideses insener loob tootespetsiifilised programmid, kus laeb programmi toote ODB++ faili, defineerib maksimaalsed kuumutustemperatuurid ja näitab programmile defineeritud referentsipunktide asukohad, millest kaamera tehakse pilt ja salvestatakse arvutisse. Kaamera võrdleb salvestatud referentsipunkte töölaual paikneva plaadi referentsipunktidega ja selle järgi suudab aru saada, kus plaadil komponendid asuvad. Vastavalt komponendikorpusele defineeritakse kuumaõhu voolukiirus, et komponent jääks paigale ja vaakumtoru saaks selle positsioonilt eemaldada. Programmi defineeritud väärtusi saab insener hiljem vajadusel muuta. Operaator skaneerib toote peale ribakoodi, mille järgi valitakse toote programm ja seejärel operaator sisestab kasutajaliideses positsiooni, kus on vaja operatsioon teostada ja ka valikmenüüst soovitud operatsiooni. Lähtudes eelnevalt paika pandud andmetest koostati joonisel 2.1 asuv juhtimisskeem.



Joonis 2.1. Juhtimisskeem.

Mehaaniliselt peab prototüüp taluma telgede liikumistel tulenevaid koormuseid. Prototüübi tugiraamis kasutatakse alumiiniumprofiile. Erinevad kinnitused ja tööriistahoidjad 3D-prinditakse, kui võimalik. Töölaud ja masina korpus lehtmestallist. prototüübi tööala suuruseks on 290mm x 290mm x 50mm (X,Y,Z).

2.2. Ökonoomika

Idee automaatse parandusseadme ehitamiseks tuli töötades Enics Eesti AS tehases, kus igapäevaselt puututi kokku probleemiga, et masinlike või inimlike eksimuste tõttu läheb hulk tooteid parandusse ja et toodete parandus võtab liiga palju aega. Tehases sai mõõdetud inimese ajakulu, et vahetada kümnel tootel 0603 korpusega takisti ühel positsioonil ja tulemuseks oli 6 minutit 20 sekundit. Esialgsel hinnangul võiks seda automaatselt teha neli korda kiiremini. Mida keerulisema korpusega on komponent, seda suurem on automaatse seadme eelis.

Arvestades, et nelja parandaja kohta on ettevõtte kulu 60 ühikut kuus ja seadme hind 700 ühikut, siis tasub see masin ennast ära juba 12 kuuga. Muidugi ei hakka ettevõtted inimesi asendama antud seadmega, vaid see oleks lisajõud paranduse osakonnas. Suurel määral töötavad parandajad tööpäeviti ja hommikuses vahetuses, seega suur eelis parandusseadmel on see, et seda saab kasutada igal ajal ja ka siis, kui parandajaid ei ole. Kõik see soodustab tootmist ja tarneaegadest kinnipidamist.

Enics Eesti AS 2019. aastal toodetud toodete arv oli 5 389 768, mille hulgas oli parandusosakonna 91 607 toodet. See näitab, et paranduses on palju tööd ja parandusseade ei jääks kasutult seisma.

Idee sai välja pakutud Enics Eesti AS juhtkonnale ja tagasiside sellele oli väga positiivne. Ka esimene klient oleks tõenäoliselt olemas.

3. PROJEKTEERIMINE JA KOOSTAMINE

3.1. Elektroonika

3.1.1. Juhtmooduli elektriskeem ja pinnalaotus

Juhtmooduli mikrokontrolleriks sai valitud *STMicroelectronicsi* poolt pakutav STM32F437ZIT7TR mikrokontroller. Valiku põhjusteks, et mikrokontrolleri töösagedus on maksimaalselt 180 Mhz, mis võimaldab kiiret suhtlust arvuti ja seadme juhtmooduli vahel. Sisendite ja väljundite arv on 114, mis jätab ruumi edasiarendusteks. Välmälu suurus on 2048 Kbaiti, mis mahutab kasutaja tarkvara mälu juurde lisamata. Lisaks on olemas juba eelnev kogemus *Cortex ARM* mikrokontrolleritega.

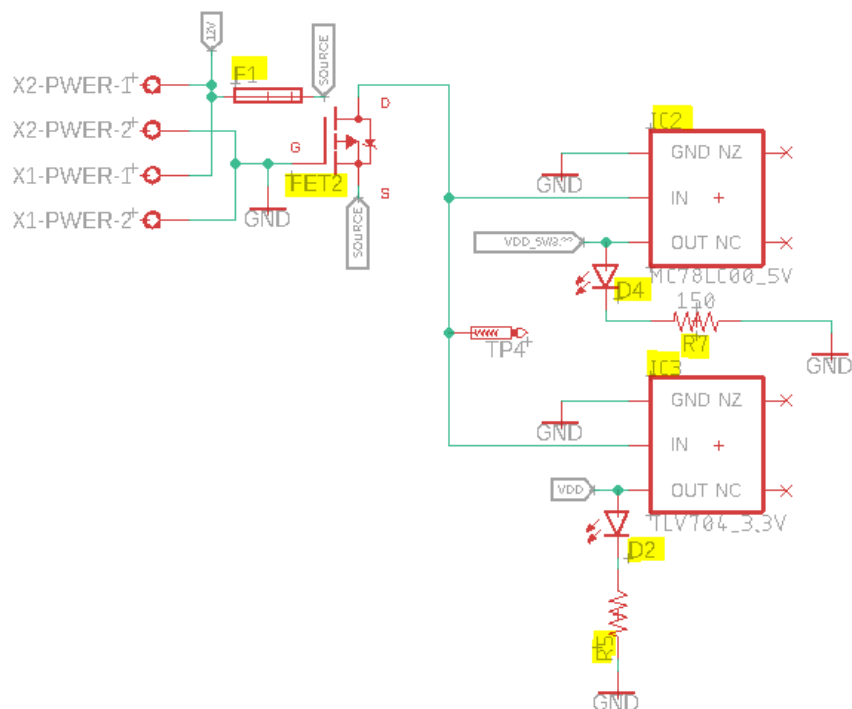
Tabel 3.1. STM32F437ZIT7TR mikrokontrolleri tehnilised näitajad [1]

NÄITAJA	STM32F437ZIT7TR
uART kanaleid	4
SPI/I2S kanaleid	6
Sisendite/väljundite arv	114
maksimaalne töösagedus, Mhz	180
Välmälu suurus, Kbaiti	2048
SRAM, Kbaiti	256
voolutarve ooterežiimil, μ A	31
Vdd sisendpinge, V	1.7-3.6
Sisendite/väljundite vool, mA	25

Seadme juhtmooduli ja samm-mootorite juhtmooduli projekteerimiseks kasutati *Autodesk* *Eagle* trükkplaadi disainimistarkvara. Piiranguteks on, et skeem saab olla maksimaalselt kahel lehel ja plaati saab disainida ainult kahekihilisena [2]. Esimesena sai loodud projektis kasutatavate komponentide sümbolitest ja jalajälgedest teek.

Enamiku teeki lisatud sümbolitest ja jalajälgedest tehti ise, käies läbi komponentide andmelehed, kuid osade komponentide puhul kasutati veebilehel *snapEDA* [3] leiduvaid vabavaralisi sümboleid. Kasutades kellegi teise poolt tehtud sümboleid tuleb arvestada, et mõõdud ei pruugi olla täpsed ja sellepärast käisin kõik jalajäljed ükshaaval üle ja veendusin, et mõõdud on õiged. Võib öelda, et kasutada veebist leitud komponentide sümboleid ja jalajälgi ning neid üle kontrollida ei tule oluliselt kiirem, kui neid ise teha.

Esimesena koostati juhtmooduli elektriskeem, mille tegemisel alustati toiteskeemist, mis asub joonisel 3.1. Toitepinge 12v tuleb sisse klemmkontaktidele: X1-PWER-1 positiivne pinge ja X1-PWER-2 negatiivne pinge. X2-PWER klemmkontaktid on selle jaoks, et plaadilt 12v pinget jagada teistele seadmetele. Trükkplaadile sai disainitud kaheastmeline kaitse, millest esimene osa on F1 sulavkaitse ja teine osa FET2 p-kanali isoleeritud paisuga väljatransistor. Sulavkaitsme eesmärk on katkestada ahel, kui toiteskeemis tekib lühiühendus. Väljatransistori eesmärk on kaitsta ahelat juhul, kui keegi peaks ühendama toite järgi vastupidise polaarsusega, sel juhul väljatransistor ei avane ja ühendust toiteskeemiga ei teki. Polaarsuskaitseks sobib p-kanali väljatransistor hästi, sest sisetakistus on väike ja sisendpinge väärtus peale väljatransistorit on peaaegu sama. Arvutuslikult saab seda tõestada kasutades Ohmi seadust $U (pinge) = I (voolutugevus) \times R (takistus)$. Andmelehe järgi on valitud väljatransistori sisetakistus 0,023 Ohmi [4], valgusdiodide ja pingeregulaatorite voolutarve kokku 650 mA [5-7], siis saab arvutada, et $0,023\text{ Ohm} \times 650\text{ mA} = 0,015\text{ V}$, ehk siis sisendpinge 12v peale väljatransistorit peaks olema teoreetiliselt 11.985 V. IC2 on lineaarne pingeregulaator, mille sisendpinge peab olema vahemikus 6-12 volti ja väljundpingeks on 5 volti [5]. IC3 on samuti lineaarne pingeregulaator ja selle sisend peab olema 2.5 – 12 V vahemikus toitepinge ja väljundisse tuleb 3.3V pinge [6]. Pinge 5V tekitatakse juhtmooduli trükkplaadil, aga reaalselt seal seda ei kasutata, vaid jagatakse samm-mootori juhtmooduli trükkplaadile. IC3 on vajalik, sest see on juhtmooduli mikrokontrolleri toiteks vajalik pinge. Lineaarsete pingeregulaatorite väljundisse on ühendatud ka Indikaator valgusdiodid, mis näitavad visuaalselt, kas väljund on aktiivne.

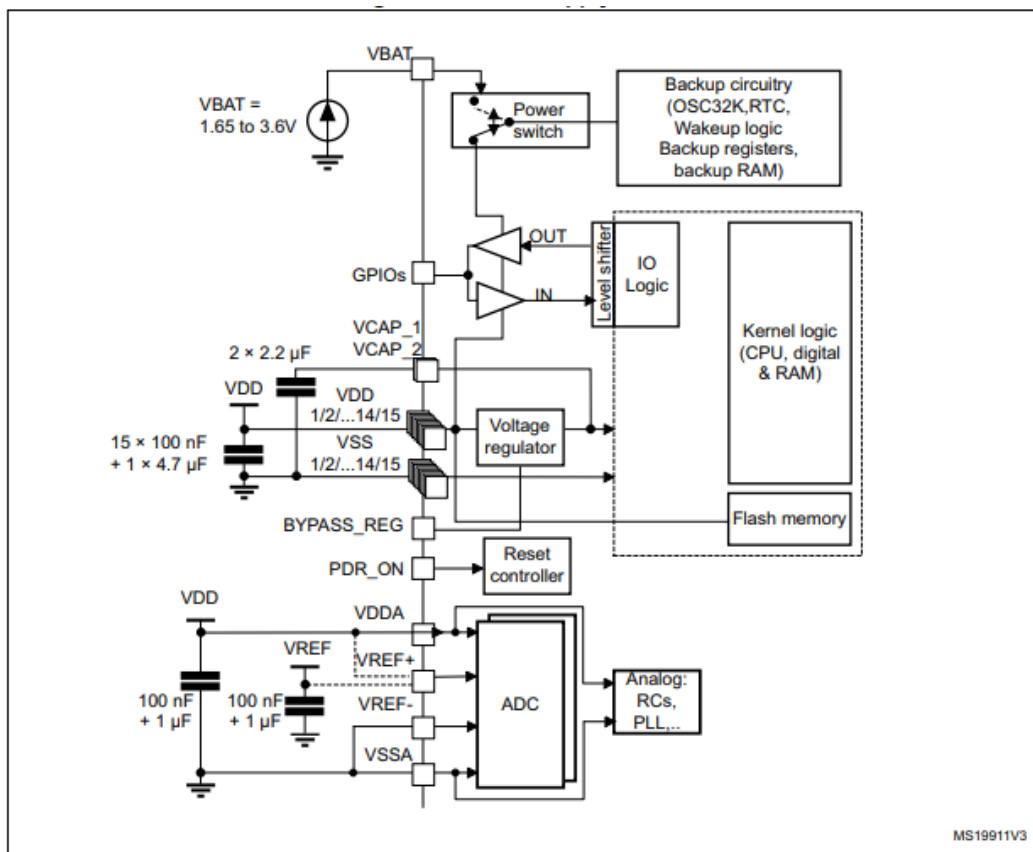


Joonis 3.1. Juhtmooduli toiteskeem.

Joonisel 3.2 on näidatud andmelehes asuvat kondensaatorite ühendusskeemi, mille järgi projekteeriti juhtmooduli trükkplaadile:

1. 16 sisendite ja väljundite lahtisidestuskondensaatorit, millest 15 mahtuvusega 100nF ja üks 4.7uF. Ühendatud 3.3v toitepinge ja nullpunkti vahele;
2. kaks mikrokontrolleri toitepinge stabiliseerimise kondensaatorit mahtuvusega 2.2 uF;
3. kaks Analoo-digitaalmuunduri kondensaatorit mahtuvusega 100nF ja 1uF;
4. kaks Referentspinge kondensaatorit mahtuvusega 100nF ja 1uF.

Sama skeemi alusel pandi skeemi CR2032 korpusega liitiumaku. Aku eesmärk toitepinge kadumisel tagada süsteemikella ja varundus registreite töö.



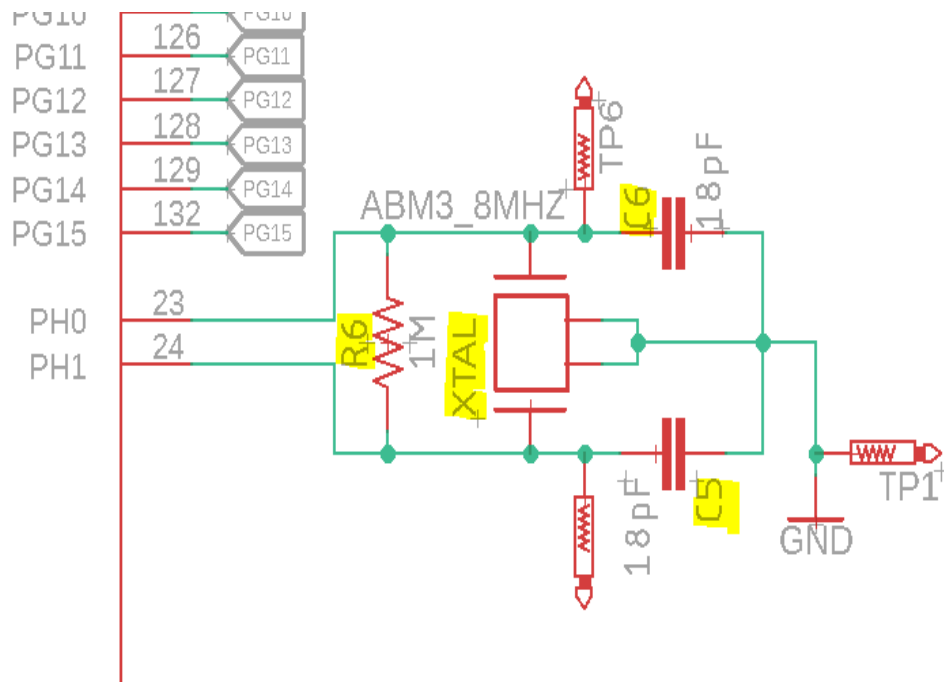
Joonis 3.2. kondensaatorite ühendusskeem [1].

Mikrokontrolleri *BOOT* jala külge lisati skeemi programmeerimise jaoks kahepositsiooniline lüliti, mis võimaldab peatada eelnevalt programmeeritud operatsioonid ja mikrokontrollerile uus programm peale kirjutada.

Programmi tegevuse jälgimiseks kasutati kahte 0603 korpusega valgusdiodi. Valgusdiodi voolutarve 30 mA pingel 2 V juures [7], mille järgi saab arvutada eelnevalt mainitud Ohmi seaduse järgi vajaliku takisti suuruse. $R_{valgusdiod} = \frac{3.3V - 2V}{0.03 mA} = 43.3 \text{ Ohmi}$, Kuna 43.3 - Ohmist takistit ei leia 0603 korpusega, siis kasutati 47 - Ohmist takistit, mis täidab oma eesmärgi.

Projekteeritav juhtmoodul peab erinevate kommunikatsioonikanalite läbi vahetama andmeid ja teostama arvutusi väga kiirelt, seega otsustati, et sisemine ostsillaator ei ole piisav ja lisati skeemile väline ostsillaator, mida saab näha joonisel 3.3. Komponent XTAL on lisatud ostsillaator 8 Mhz sagedusega [8]. Ostsilaatori sisendi ja väljundi vahele ühendati 1Mohm väärtusega takisti, et stabiliseerida taktsignaali. C5 ja C6 väärtused olid kirjas andmelehes, suuruse kirjeldus koormusmahtuvus ja selle väärtus oli 18pF. Sageduse tolerants ± 50 ppm,

hertsides tolerant $\pm \frac{8000000 \text{ Hz} \times 50 \text{ ppm}}{10^6} = 400 \text{ Hz}$ mis tähendab, et taktisagedus võib olla vahemikus 7999600-800400 Herti.



Joonis 3.3. Välise ostsilaatori skeem.

Seadme kuumaõhupuhuri ja mahajootekolvi sisse ja välja lülitamise jaoks kasutati juhtmoodulil kahte mehaanilist kontakteleed, mille lülitusmähist juhitakse mikrokontrolleri väljundpingega 3.3V. Kui relee mähisel on mikrokontrolleri poolt 3.3v pinge peal, siis läheb põlema ka trükkplaadil asuv relee indikaator valgusdiod.

Vaakumpumba juhtimiseks kasutati N-kanali väljatransistorit, mida juhitakse mikrokontrolleri väljundis analoogsignaali ja saab reguleerida vaakumpumba mootori voolu. Mootori konnektori kahe kontakti vahele pandi ka diod, mis kaitseb ahelat mootori tagasivoolu piikide eest.

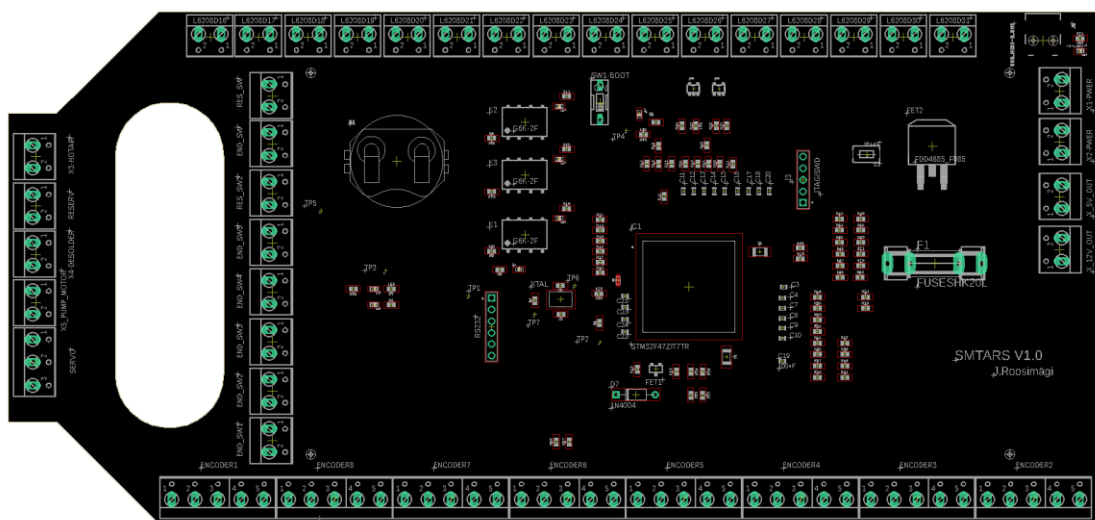
Seadme lõpulülite jaoks paigutati trükkplaadile kuus kahe kontaktiga wago konnektorit. Kus üks kontakt ühendub ahela toitepingesse ja teine kontakt mikrokontrolleri sisendisse. Teise kontakti ja mikrokontrolleri sisendi vahele on ühendatud veel üks takisti, mis ühendub plaadi maandusesse. Takisti eesmärk eemaldada häiringud ja signaali kõikumine, selle jaoks läbi takisti hoitakse sisend 0V pingega, kuni toimub lõpulüliti lülitus, mis tõstab sisendi

pinge 3.3V peale. Kuuele lõpulüliti konnektorile lisati kaks konnektorit veel varuks sama lahendusega.

Juhtmooduli programmeerimise jaoks kasutatakse SWD ühendust ja arvutiga suhtlemiseks RS232 protokoll.

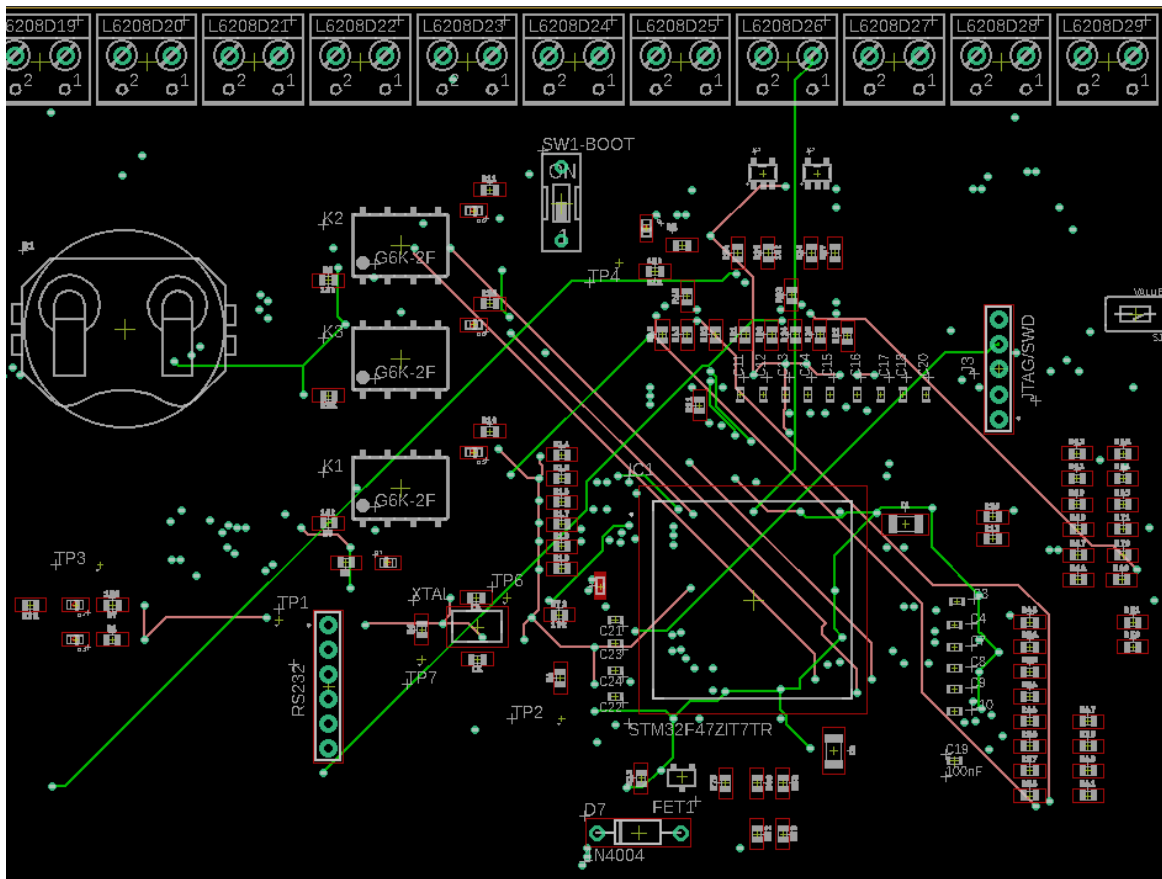
Iga samm-mootori juhtmooduli jaoks on seadme juhtmooduli trükkplaadil üks nelja kontaktiga konnektor, kuhu mikrokontroller saadab juhtsignaale. Lisaks on veel juhtmooduli trükkplaadil kaheksa viiekontaktilist konnektorit, millest saab mikrokontroller sisendisse pöördekooderite signaalid ja nende signaalide abil kontrollitakse, kas samm-mootorid sooritasid sama arvu samme, mis juhtmoodulist saadeti. Kui sammude arv erineb, siis see tarkvaraliselt korrigeeritakse.

Seadme juhtmooduli pinnalaotuse tegemisel paigutati kõigepealt komponendid trükkplaadi pealmisele poolele, mis on näha joonisel 3.4.



Joonis 3.4. Trükkplaadi pinnalaotuse komponentide paigutus.

Lahtisidestuskondensaatorid paigutati mikrokontrolleri jalgadele võimalikult lähedale ja ülejäänud komponendid vastavalt sisend- ja väljundkonnektorite järgi. Kahekihiliselt ei olnud võimalik kõiki ühendusi luua ja sellepärast projekteeriti neljakihiliseks, mis võimaldas vedada kõik rajad trükkplaadil. Juhtmooduli tehnilised joonised elektriskeemi ja pinnalaotuse kohta asuvad lisas A. Kahe sisemise kihi ühendused on näidatud joonisel 3.5.



Joonis 3.5. Trükkplaadi pinnalaotuse kaks sisemist kihti.

3.1.2. Samm-mootori juhtmooduli elektriskeem ja pinnalaotus

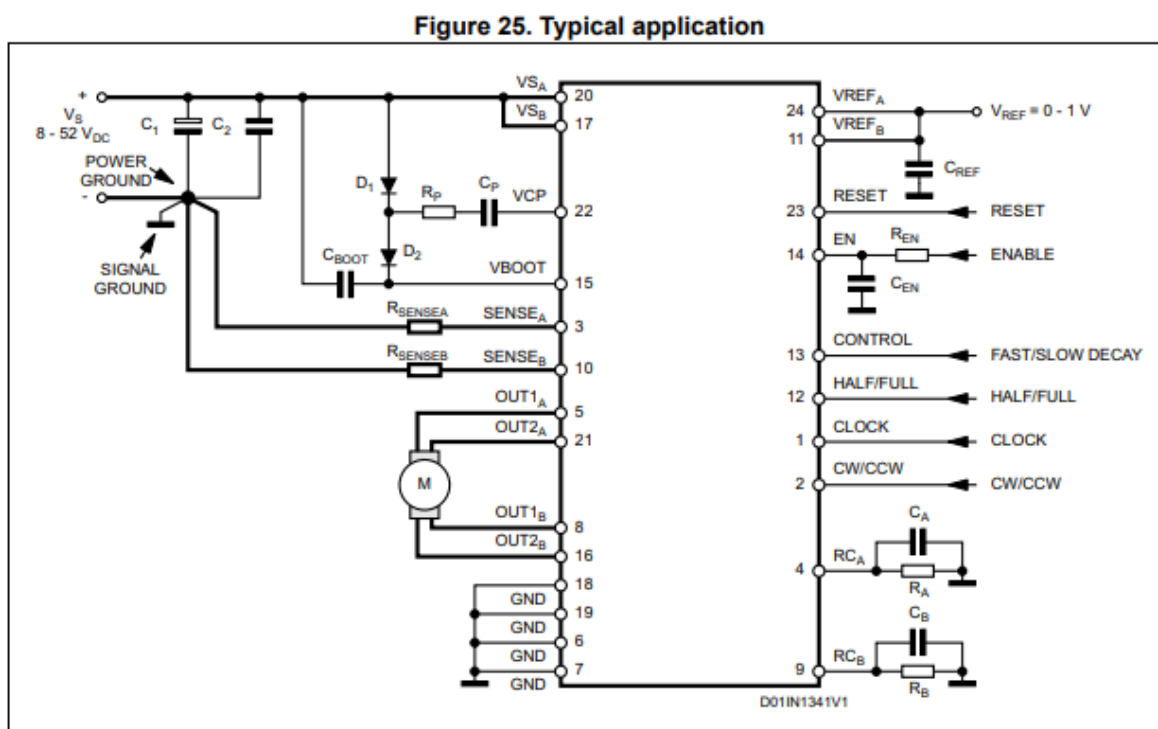
Samm-mootori juhtmooduli põhiliseks elemendiks on L6208D integraallülitus, mille osadeks on:

1. H-sild, kus asub neli väljatransistorit, mis saadavad samm-mootori mähistele voolu;
2. Värava loogika juhib H-silda;
3. Pinge regulaator 5V-10V;
4. Samm-mootori juhtimiskäskude genereerimise üksus;
5. Ülevoolu kaitse;
6. Kõrge temperatuuri kaitse.

Värava loogikasse tuleb sisendiks integraallülituse aktiveeriv signaal, lülituse režiimi kontrolliv signaal, kõrge temperatuuri kaitse staatus ja juhtimiskäskude genereerimise

üksuselt täitmisele kuuluv signaal. Juhul kui temperatuur tõuseb liiga kõrgele, siis pannakse töö ootele, kuni temperatuur langeb nõutud vahemikku. Juhtimiskäskude genereerimisüksus saab sisendiks pool-sammu või terve sammu valimissignaali, taktsignaali, taaskäivitus signaali ja pöörlemissuunda kontrolliva signaali.

Samm-mootorite juhtmooduli trükkplaadi koostamiseks kasutati integraallülituse andmelehes paiknevat tüüpilise kasutamise näidisskeemi, kus olid kirjas vajalikud komponendid ja nende väärtused, mis on nähtav ka joonisel 3.6.



Joonis 3.6. L6208D andmelehes paiknev tüüpilise kasutuse näidisskeem [9].

Referentspinget ei olnud võimalik päris täpselt arvutuslikult paika panna ja selle jaoks kasutati referentspinge pingejaguri ühes pooles potentsiomeetrit, et sellega testimise käigus sobiv takisti väärtus paika panna. Kõik vajalikud juhtsignaalid tulevad trükkplaadile juhtmoodulilt läbi konnektoreite, välja arvatud pool-sammu ja terve sammu režiimi valimine, mis teostatakse trükkplaadil asuva kahepositsioonilise lülitiga. Samm-mootorite juhtmooduli elektriskeem asub lisas A.

3.1.3. Tellimine ja koostamine

Eelnevalt koostatud skeemide ja pinnalaotuse põhjal telliti trükkplaadi tootjalt JLCPCB trükkplaadid ja koostati ostunimekiri, mille põhjal telliti Juhtmoodulite koostamiseks vajalikud komponendid.

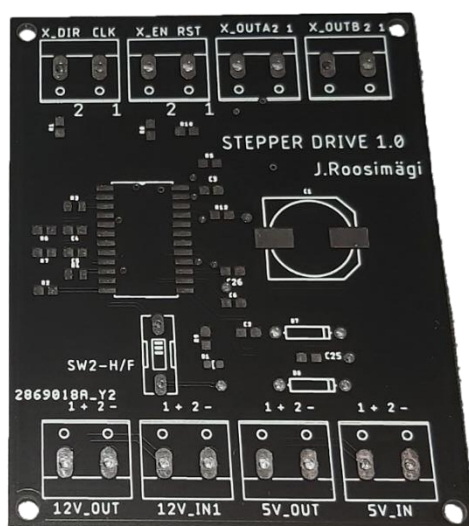
Tabel 3.2. Juhtmoodulite komponentide ostunimekiri.

Komponent/detail	Korpus	Tarnija	Hind, €	Kogus	Hind kokku, €
1. STM32F437ZIT7R	LQFP144	Farnell	17.57	4	70.28
2. L6208D	SOIC-24	Farnell	5.33	10	53.30
3. N-kanali väljatransistor	SC59	Farnell	0.32	5	1.62
4. relay OMRON	G6K-2F	Farnell	4.11	5	20.55
5. valgusdiod	0603	Farnell	0.27	30	8.13
6. pingeregulaator 5v	SOT 23-5	Farnell	0.70	5	3.50
7. pigneregulaator 3.3V	SOT-23-5	Farnell	0.86	20	17.10
8. 230v -12v 30A toide		Amazon	16.55	1	16.55
9. CR2032 hoidja	CR2032		0.52	2	1.04
10. CR2032		Farnell	0.68	3	2.03
11. P-kanali väljatransistor	TO 252	Farnell	0.93	5	4.64
12. Induktiivsuselement	0603	Farnell	0.07	10	0.66
13. wago 2 konnektor		Farnell	0.36	120	42.60
14. USB pistik		Farnell	0.99	3	2.97
15. USB - TTL konverter		Farnell	19.00	1	19.00
16. wago 5 konnektor		Farnell	2.37	10	23.70
17. kaitsme hoidja	5x20	Farnell	0.37	5	1.84
18. sulavkaitse	5x20	Oomipood	2.62	4	10.48
19. wago 3 konnektor		Farnell	0.54	10	5.43
20. DIP lüliti		Farnell	0.99	15	14.90
21. 00hm takisti	0603	Farnell	0.09	20	1.89
22. 100nF kondensaator	0603	Farnell	0.18	50	8.95
23. 10kOhm takisti	0603	Farnell	0.05	70	3.22
24. 150 ohm takisti	0603	Farnell	0.04	10	0.41
25. 18pF kondensaator	0603	Farnell	0.09	10	0.93
26. 1MOhm takisti	0603	Farnell	0.05	10	0.46
27. 1N4004 diod	Do-41	Farnell	0.15	10	1.54
28. 1uF kondensaator	0603	Farnell	0.14	10	1.36
29. 2.2uF kondensaator	1206	Farnell	0.45	10	4.47
30. 22 Ohm takisti	0603	Farnell	0.17	10	1.65
31. 4.7uF kondensaator	0603	Farnell	0.31	10	3.06
32. 470Ohm takisti	0603	Farnell	0.05	30	1.38
33. 68Ohm takisti	0603	Farnell	0.05	20	0.92

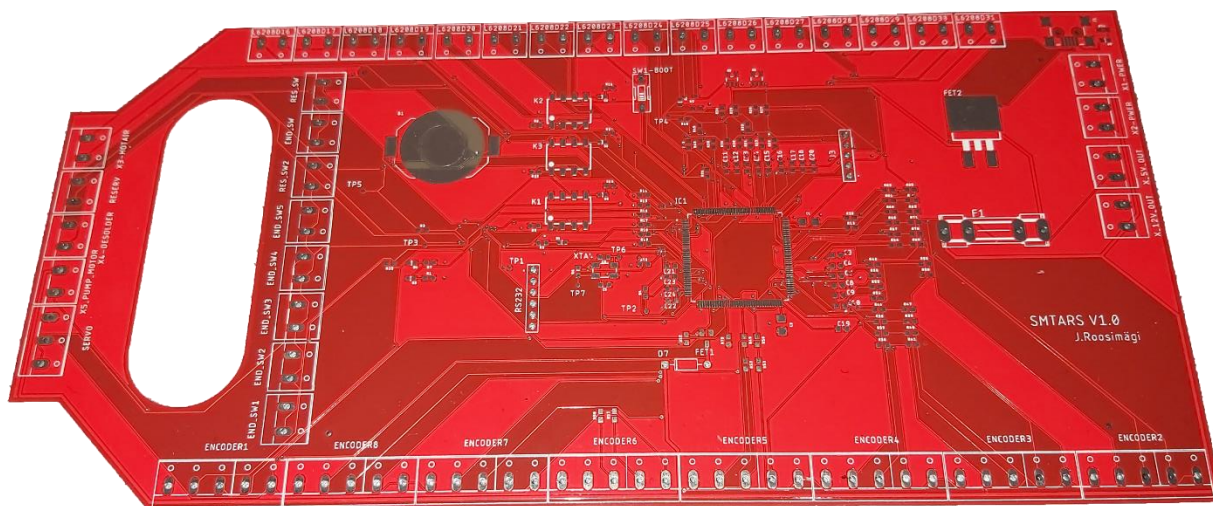
Tabel 3.2 järg.

Komponent/detail	Korpus	Tarnija	Hind, €	Kogus	Hind kokku, €
34. 8Mhz ostsilaator	ABM3	Farnell	0.87	5	4.37
35. 0.3 Ohm takisti	0603	Farnell	0.26	30	7.77
36. 10 Ohm takisti	0603	Farnell	0.04	20	0.85
37. 100 Ohm takisti	0603	Farnell	0.05	20	0.92
38. 100uF kondensaator	10x10	Farnell	1.27	4	5.08
39. 10nF kondensaator	0603	Farnell	0.06	10	0.63
40. 1n4148 diood	radial	Farnell	0.10	10	0.96
41. 1nF kondensaator	0603	Farnell	0.06	30	1.83
42. 220nF kondensaator	0603	Farnell	0.03	20	0.63
43. 22kOhm takisti	0603	Farnell	0.05	20	0.92
44. 39kOhm takisti	0603	Farnell	0.04	30	1.24
45. 4.7kOhm takisti	0603	Farnell	0.05	20	0.92
46. 68nF kondensaator	0603	Farnell	0.05	20	0.95

Valminud seadme juhtmooduli trükkplaat joonisel 3.7 ja samm-mootori juhtmooduli trükkplaat joonisel 3.8.



Joonis 3.7. Samm-mootori juhtmooduli trükkplaat.



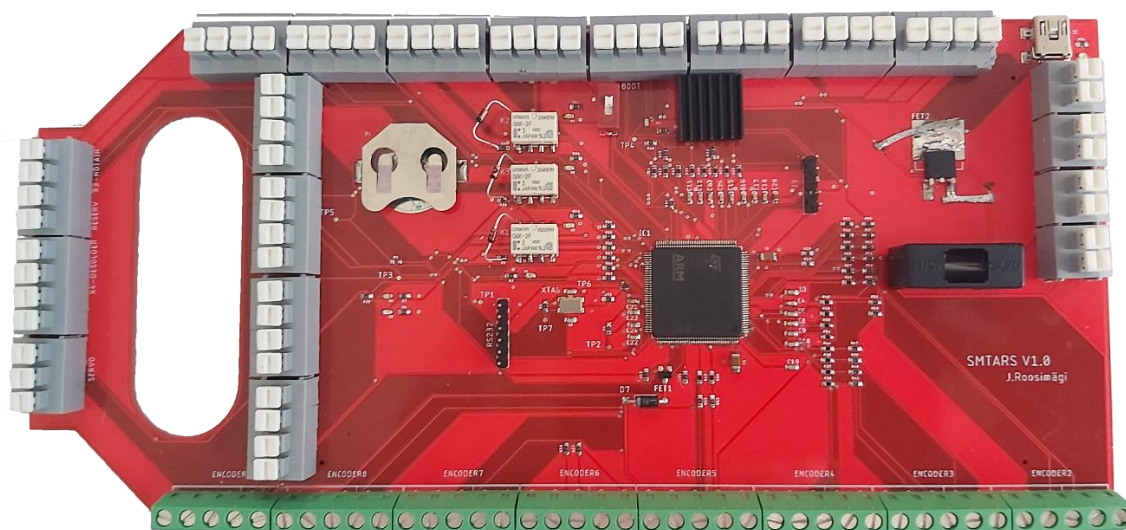
Joonis 3.8. Samm-mootori juhtmooduli trükkplaat.

Plaatide ülekontrollimisel tuvastati skeemil tehtud viga. Polaarsuskaitse väljatransistoril olid sümboli tegemisel jalad vahetusse läinud. Uue plaadi tellimine ei tundunud otstarbekas, seega modifitseeriti vajalikud rajad trükkplaadil.

Järgnev protsess oli komponentide jootmine. Kõikide pindliitekomponentide jootmiseks kasutati jootepastat ja kuumaõhupuhurit, mis andis väga hea jootekvaliteedi ja välimuselt korrektsed jooted. Läbiava komponendid joodeti plaatidele jootekolbi ja 0.5mm läbimõõduga tinatraadi abil. Koostatud seadme juhtmooduli trükkplaat on joonisel 3.9 ja koostatud samm-mootorite trükkplaat joonisel 3.10.



Joonis 3.9. Koostatud samm-mootori juhtmooduli trükkplaat.



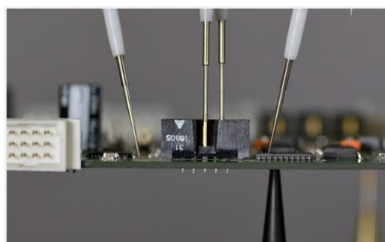
Joonis 3.10. Koostatud seadme juhtmooduli trükkplaat.

Seadme juhtmooduli trükkplaadi koostamisel lisati skeemi väliselt rele lülitismähise jalgade vahele tagasivoolu kaitseks diood, et säästa mikrokontrolleri väljundeid mähise tagasivoolu piikide eest.

3.1.4. Plaatide testimine FPT testsüsteemiga ja funktsionaalsuse testimine.

Koostatud plaatide testimiseks otsustati kasutada Enics Eesti AS tehases olevat *TAKAYA APT1400F-A* koostatud trükkplaatide testimise tehnoloogiat, mis oli eelnevalt kooskõlastatud Enics Eesti AS testi osakonna juhiga.

Lendavad nõelad loovad testipunktidega kontakti, et teostada mõõtmist - joonisel 3.11.



Joonis 3.11. *TAKAYA APT1400F-A* lendavad nõelad [10].

TAKAYA APT1400F-A testisüsteemil paiknevad lendavad nõelad ainult ülemisel poolel ja alumisele poolele saab paigaldada maksimaalselt kolm fikseeritud testinõela ja tugipostid, mis on hädavajalikud suuremate plaatide korral, et plaat ei painduks läbi ja et nõelad saaksid kontakti testipunktiga. Sellise testisüsteemi puhul, kui ühelt poolt testides ei ole võimalik täielikku komponentide kattuvust saada, keeratakse ühe poole testi lõppemisel plaat teistpidi ja testitakse plaati teiselt poolt edasi.

Esimene samm plaatide testimiseks oli see, et oli vaja luua masinale sobiv testiprogramm. Testiprogrammi loomiseks kasutati Enics Eesti AS omanduses olevat tarkvara *Testway*, mis on toodetud *ASTER Technologies* poolt. *Testway* jaoks on vaja ahelate infot, komponentide koordinaate ja seoseid ahelas, ning trükkplaadi graafilisi faile. *Egale* laiendustega sai loodud ODB++ formaadis algfailid, mis sobivad *Testway* sisendiks. Järgnevalt oli vaja tarkvaras defineerida ahelate tüübid ja komponendid. Komponentide defineerimisel oli vaja komponendid tootja numbri järgi lahterdada ja siis defineerida väärtused, mida masin peaks mõõtma: tolerantsid, polaarsused, komponendi klassid ja komponendi füüsilised kõrgused.

Kui kõik oli defineeritud, tehti programmis kattuvuse analüüs. Seadme juhtmooduli kattuvuse analüüs näha joonisel 3.12 ja samm-mootorite juhtmooduli kattuvuse analüüs näha joonisel 3.13.

TEST REPORT FOR FPT



BOARD NAME / NUMBER	SMTARS	DATA PROCESSING REPORT	WRK:SMTARS.htm
COMPONENT	171	COMPONENT TESTED	100.00%
NET	184	NET ACCESS	100.00%
SHORT COVERAGE	99.72%	BOARD SCORE	70.33%

DEVICE TYPE	TOTAL NUMBER (PARTS OR PINS)	Number of well tested	Number of partially tested	Number of not tested
Integrated Circuit	3 Parts (154 Pins)	0.0% (0)	100.0% (3)	0.0% (0)
Transistor	2 Parts	0.0% (0)	100.0% (2)	0.0% (0)
Diode	1 Parts	100.0% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)
LED	8 Parts	100.0% (8)	0.0% (0)	0.0% (0)
Capacitor	24 Parts	20.8% (5)	79.2% (19)	0.0% (0)
Resistor	74 Parts	100.0% (74)	0.0% (0)	0.0% (0)
Relay	3 Parts	100.0% (3)	0.0% (0)	0.0% (0)
Fuse	1 Parts	0.0% (0)	100.0% (1)	0.0% (0)
Inductor	1 Parts	100.0% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)
Crystal	1 Parts	0.0% (0)	100.0% (1)	0.0% (0)
Switch	1 Parts	100.0% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)
Connector	45 Parts (130 Pins)	0.0% (0)	100.0% (45)	0.0% (0)
Test point	7 Parts			
Total	164 Parts (7 Ignored)	56.7% (93)	43.3% (71)	0.0% (0)

Joonis 3.12. *Testway* kattuvuse analüüs seadme juhtmoodulile.

TEST REPORT FOR FPT



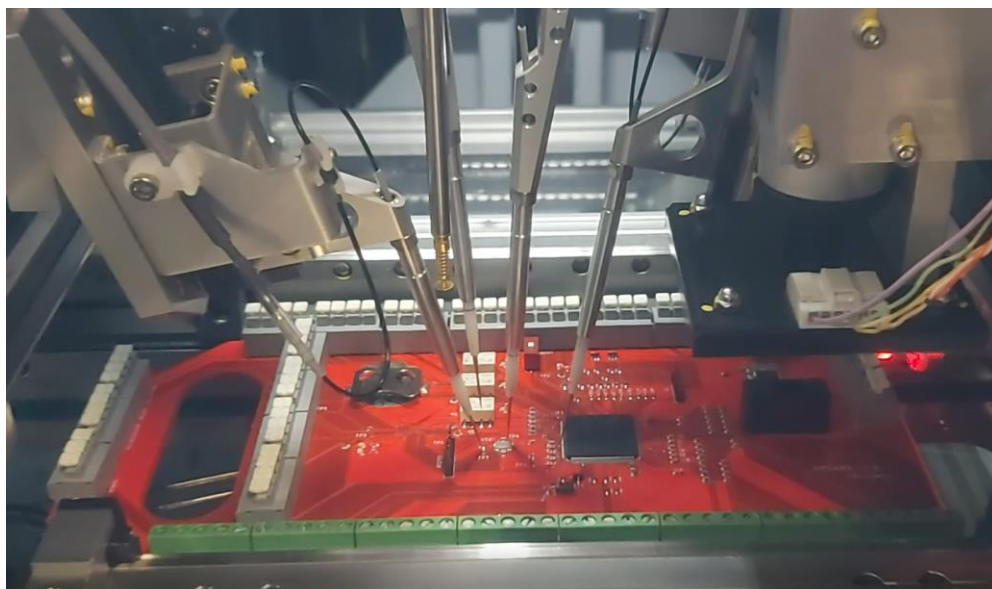
BOARD NAME / NUMBER	STEPPER	DATA PROCESSING REPORT	WRK:STEPPER.htm
COMPONENT	32	COMPONENT TESTED	100.00%
NET	23	NET ACCESS	100.00%
SHORT COVERAGE	100.00%	BOARD SCORE	64.13%

DEVICE TYPE	TOTAL NUMBER (PARTS OR PINS)	Number of well tested	Number of partially tested	Number of not tested
Integrated Circuit	1 Parts (24 Pins)	0.0% (0)	100.0% (1)	0.0% (0)
Diode	2 Parts	100.0% (2)	0.0% (0)	0.0% (0)
LED	1 Parts	100.0% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)
Capacitor	8 Parts	87.5% (7)	12.5% (1)	0.0% (0)
Resistor	11 Parts	100.0% (11)	0.0% (0)	0.0% (0)
Switch	1 Parts	100.0% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)
Connector	8 Parts (16 Pins)	0.0% (0)	100.0% (8)	0.0% (0)
Total	32 Parts (0 ignored)	68.8% (22)	31.3% (10)	0.0% (0)

Joonis 3.13. Testway kattuvuse analüüs samm-mootorite juhtmoodulile.

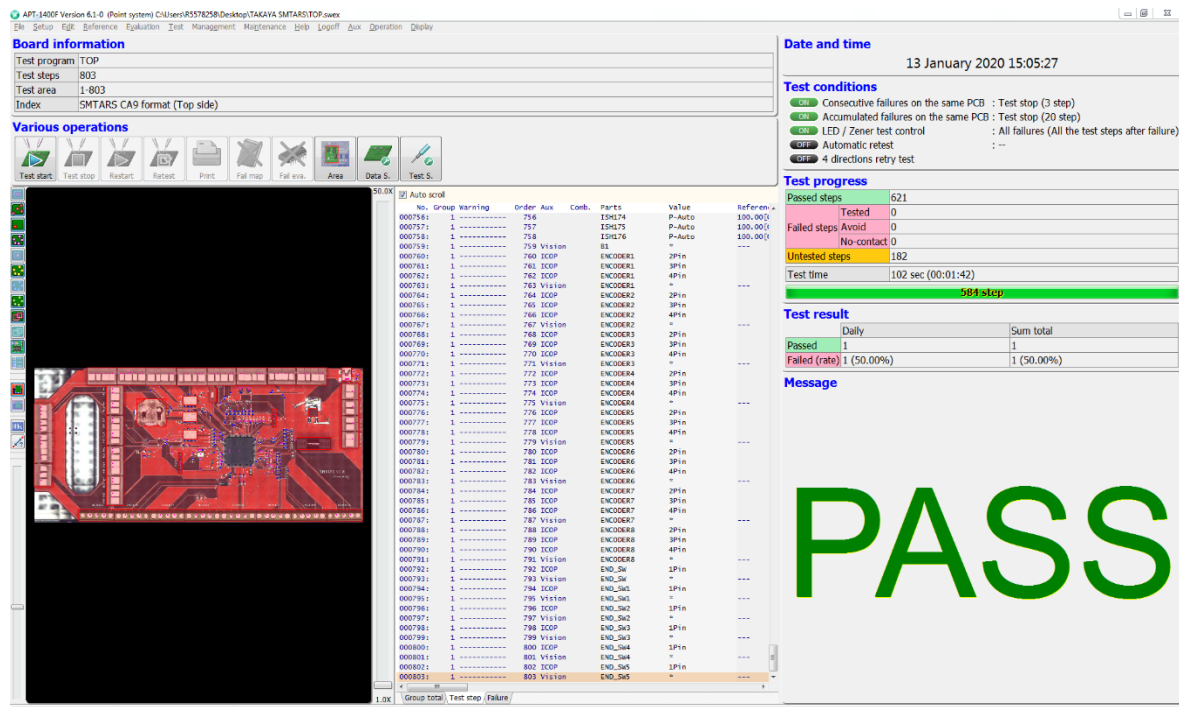
Seadme juhtmooduli kattuvus *Testway* programmi järgi tuli 70.33%, mida võib lugeda heaks kattuvuseks. Ühtegi testimata komponenti ei ole. Samuti ei ole samm-mootorite juhtmooduli testiprogrammis ühtegi testimata komponenti ja kattuvusnäitaja 64.13%.

Kinnitades, et kattuvus on plaatidel piisav, sai genereeritud testiprogrammid ja edastatud need *Takaya APT1400F-A* testri arvutisse. Testri enda programmis oli vaja veel parameetreid paika panna ja seadistada see trükkplaadile vastavalt. Kui kõik ette valmistused olid tehtud, testiti mõlemad plaadid. Joonisel 3.14 näidatakse seadme juhtmoodulit testimisel.

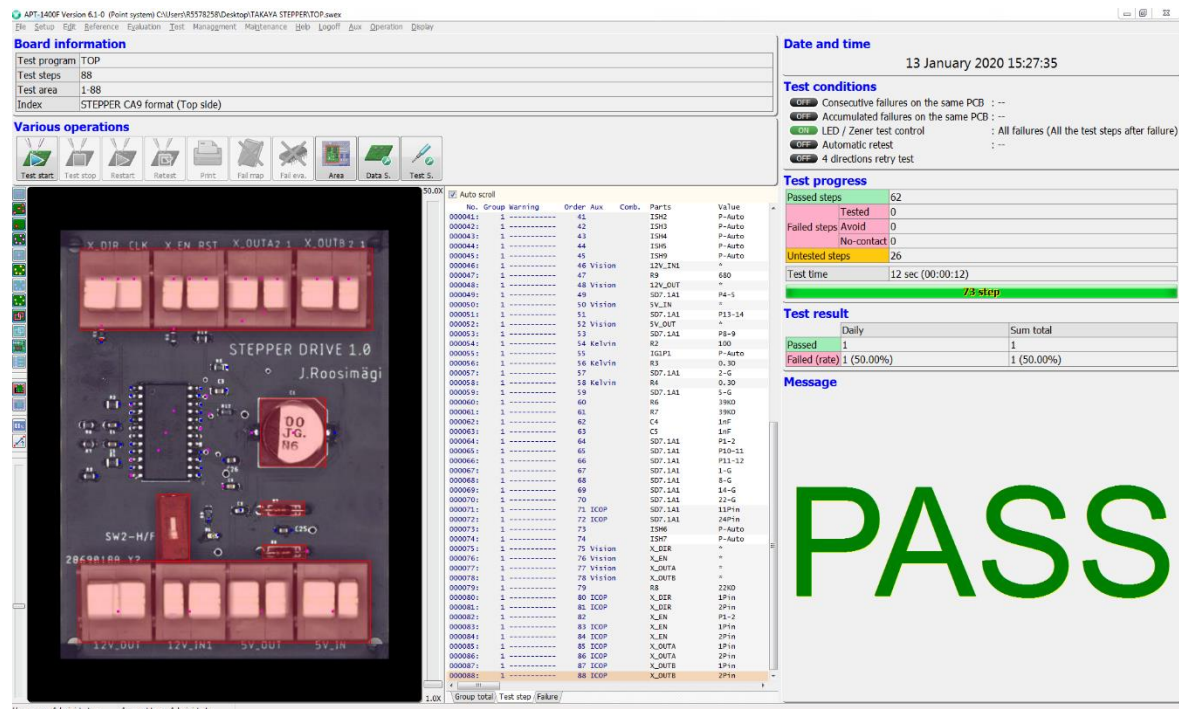


Joonis 3.14. Seadme juhtmoodul testimisel TAKAYA APT1400F-A testris.

Testitulemused mõlema plaadi korral olid positiivsed ehk koostatud trükkplaadid läbisid testi edukalt. Testitulemused on näidatud joonistel 3.15 ja 3.16.



Joonis 3.15. Seadme juhtmoodul testitulemus TAKAYA APT1400F-A testris.



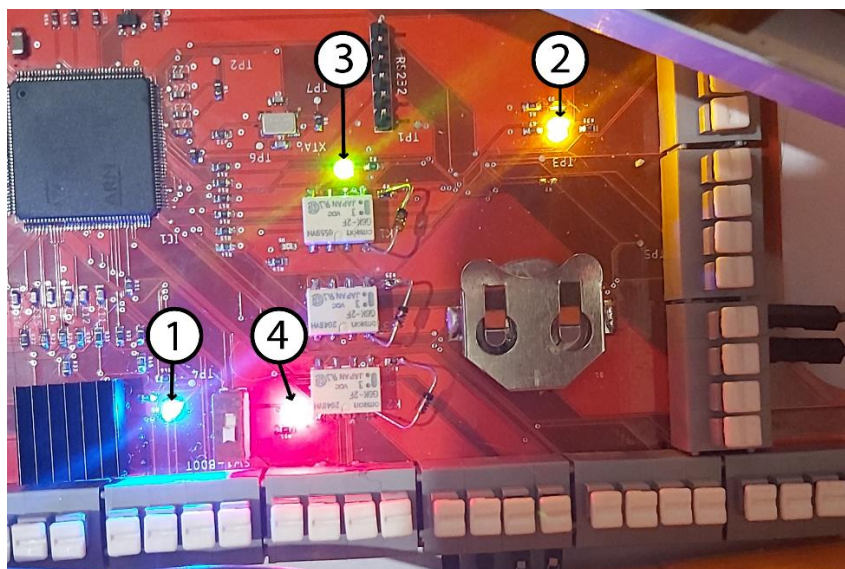
Joonis 3.16. Samm-mootorite juhtmoodul testitulemus TAKAYA APT1400F-A testris.

27

Testitarkvara seadme juhtmoodulile loodi *STM32CubeMX* versioon 5.2.0 tarkvaraga. tarkvaras defineeriti mikrokontrolleri sisendid ja väljundid ning kasutusel olevad kommunikatsioonikanalid. Järgnevalt määrati sisemine kell mikrokontrolleril 32kHz ja väline kell 8 Mhz. Süsteemi kell konfigureeriti 16 Mhz peale. Kui kõik sätted olid paigas, koostati *STM32CubeMX* programmi struktuur, mikrokontrolleri jalgade sätted c-keeles ja lisas valitud teegid. Koostatud koodi osad avati *keil µVision* versioon 5.30 tarkvaras, kus kirjutati põhitsükkel, kompileeriti kood ja programmeeriti kood mikrokontrollerile, kasutades *ST-LINK V2* programmaatorit. Juhtmoodulite funktsioonide testimiseks loodi koodis põhitsükkel, kus testiti:

1. Mikrokontrolleri programmi oleku indikaator valgusdioode;
2. Ükshaaval releede lülitsamist;
3. N-kanali väljatransistoriga vaakumpumba käitamist;
4. Samm-mootori juhtmoodulit, millega juhiti kruvilati koostu.

Valgusdiodide vilgutamine ja releede lülitamine toimis edukalt. Osaline valgusdiodide töö on näidatud joonisel 3.18.



Joonis 3.18. Osaline valgusdiodide töö. 1. 3.3v pinge indikaator, 2. 5v pinge indikaator, 3. testitsükli indikaator, 4. esimese relee lülituse indikaator.

Ostilloskoobiga sai mõõdetud relee mähise tagasivoolu diodi peal ja tulemuseks oli, et diod täitis oma funktsiooni tagasivoolu juhtimisel. Ka vaakumpumba käivitamisel ei olnud tõrkeid ning väljatransistor püsis lubatud temperatuuride piires. Samm-mootori juhtimisel

läks L6208D lülitusintegraal algul väga kuumaks ja pidevalt aktiveerus temperatuurikaitse, mille tõttu kruvilatt pöörles katkendlikult. Kasutades referentspinge pingejaguri potentsiomeetrit samm-mootorite juhtmooduli trükkplaadil, sai testides referentspinge paika ja kruvilatt pöörles korralikult ning lülitusintegraal enam ei kuumenenud üle.

Testitsükkel sai käivitatud vajutuslülitiga, mis lubas seda käivitada vabal valikul ja seda sai käivitatud sada korda. Seadme juhtmooduli testitsükli C-kood on lisas C.

Testitsükli abil sai tehtud järeldus, et juhtmoodulid toimivad, komponentide temperatuurid püsivad lubatud piiride vahemikus ja et juhtmoodulid sobivad ja neid saab kasutada seadme osade juhtimiseks.

3.2. Mehaanika

3.2.1. Seadme komponentide valimine ja tellimine

Seadme töölaua liigutamiseks x- ja y-teljes valiti samm-mootori kruvilati koost pikkusega 500mm. Koostus samm-mootori tüüp on *NEMA23*, mähisevooluga 2.8A ja koormuse pöördemomendiga 1.3 Nm. Tööriistade liigutamiseks z-teljes kasutati samuti samm-mootori ja kruvilati koostu pikkusega 80mm. Samm-mootori tüübiks *NEMA11*, mille mähisevool on 0.67A ja koormuse pöördemoment on 0.12 Nm. Samm-mootorite tagasiside jaoks valiti *AMT102-V* pöördenkooderid.

Tabel 3.3. Seadmesse paigaldavate komponentide ostunimekiri.

Komponent	kogus	Hind, €	Hind kokku, €
X samm-mootori kruvilatti koost	1	62.00	62.00
Y samm-mootori kruvilatti koost	1	62.00	62.00
Vaakumpump	2	42.00	84.00
NEMA23 varu	2	24.00	48.00
Mahajootekolb	1	130.00	130.00
Kuumaõhupuhur	1	51.00	51.00
Jootepasta süstal	1	7.00	7.00
Kaamera	1	65.00	65.00
AMT102-V enkooder	8	21.26	170.08
Z samm-mootori kruvilatti koost	4	81.66	326.64
Z samm-mootori kruvilatti koost varu	2	75.00	150.00
Toiteplokk	1	16.55	16.55
Servo	1	22.00	22.00
Lõpulüliti	10	0.70	7.00

Esmalt sai tellitud põhilised komponendid, et saaks alustada mehaanika projekteerimist. Joonisel 3.19. näidatakse projekteerimiseks tellitud seadme osad.



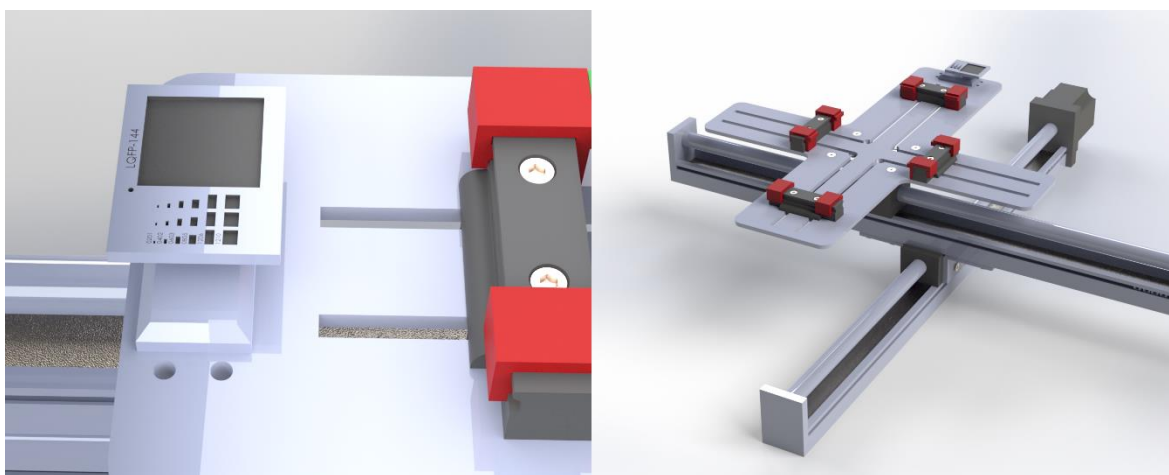
Joonis 3.19. Projekteeerimiseks tellitud seadme osad - 1. Kuumaõhupuhur, 2. z-telje samm-mootori ja kruvilati koost, 3. x,y-telje samm-mootori ja kruvilati koost, 4. mahajootekolvijaam, 5. pöördenkooder, 6. z-telje samm-mootori ja kruvilati koost, 7. NEMA23 samm-mootor varuks, 8. Kõrge resolutsiooniga USB-kaamera.

Kui ostukomponendid jõudsid kohale, siis sai need sisse mõõdetud käsitsi ja koostatud mõõtetulemuste järgi detailidest 3D mudelid.

3.2.2. Seadme projekteerimine

Projekteerimise jaoks püstitatud nõuded olid, et mehaaniliselt peab prototüüp olema piisavalt vastupidav ja taluma telgede liikumistel tekkivaid koormusi, et prototüübi eelarve ei läheks üle, et erinevad kinnitused ja tööriistahoidjad võimalusel 3D-prinditakse, et seadme raam projekteeritakse alumiinium-profiilist, töölaud ning masina korpus lehtmestallist ja et prototüübi tööala suuruseks on 290mm x 290mm x 50mm (X,Y,Z).

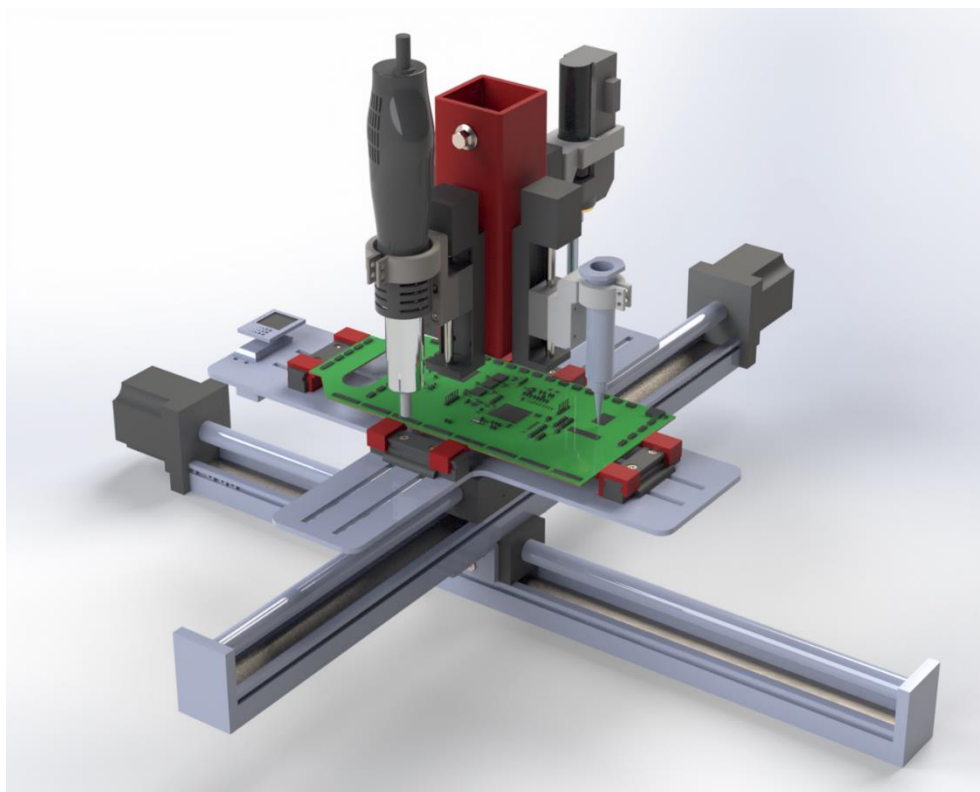
Projekteerimist alustati töölauast. Töölaua materjaliks valiti S235 teras läbimõõduga 2mm. Plaadi kinnitamiseks tehti kinnitused, mis liiguvad töölaua soontes. Kinnituste fikseerimiseks positsiooni kasutatakse kuuskant tööriista. Kinnituste trükkplaati hoidvad punased klambrid on projekteeritud vastavalt trükkplaadi paksusele ja vahetatavad vastavalt vajadusele. Töölaua küljes paiknev servo pöörab projekteeritud komponentide alust. Komponentide aluses on süvendid komponentide hoidmiseks. Töölaud ja komponentide alus joonisel 3.20.



Joonis 3.20. Vasakul komponentide alus, paremal töölaud.

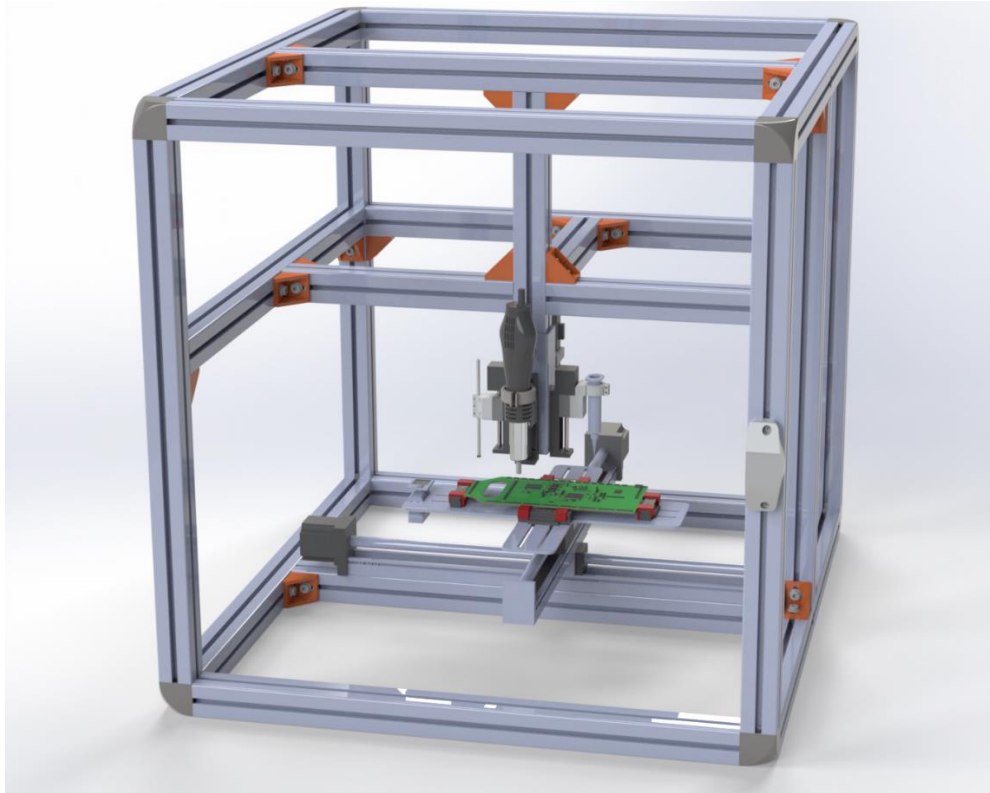
Järgnevalt projekteeriti tööriistahoidja koost. Alustuseks paigutati Z-telje kruvilati ja samm-mootori koostud projekteeritud hoidiku külge, mis kinnitub alumiiniumprofiili külge. Hoidiku sisse alumisse poolde kinnitub kaamera koos valgusdiodide jadast koosneva valgustiga. Tööriistade kinnitamiseks kruvilati ja samm-mootori koostuga projekteeriti tööriistade hoidjad. Hoidjad 3D-prinditakse ja need projekteeriti vastavalt. Tööriistahoidja

külge kinnitamiseks pingutatakse need hoidja külge pingutuspoltidega. Tööriistade koost on joonisel 3.21.



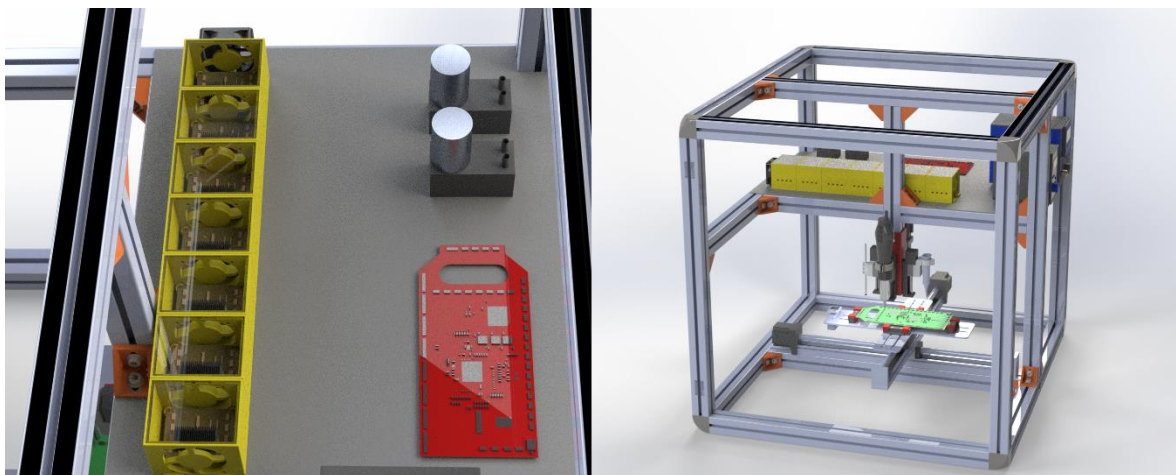
Joonis 3.21. Tööriistade koost.

Seadme raam ja toestruktuur projekteeriti tootja *MiniTec* poolt pakutavatest alumiiniumprofiilidest. Valitud alumiiniumprofiili mõõtmeteks on 45 mm pikkus ja 45 mm laius ja profiili ristlõike keskel läbivad avad, läbimõõduga 11,7 mm, juhtmete läbi viimiseks [11]. Ringikujuliste avadega profiil sai valitud, et sealt kaudu viia läbi juhtmed, mis jätab masina seest puhtama mulje. Profiilide omavaheliseks ühendamiseks valiti sama tootja kataloogist nurkühendused. Nurkühenduste küljes on juhikud, mis paigaldatakse profiili soontesse ja poltidega pingutatakse nurgad vastu profiili, mis fikseerib tugevalt kaks profiili omavahel kokku. Alumiiniumprofiilidest koostatud raam koos tööriistade- ja töölauakoostuga joonisel 3.22.



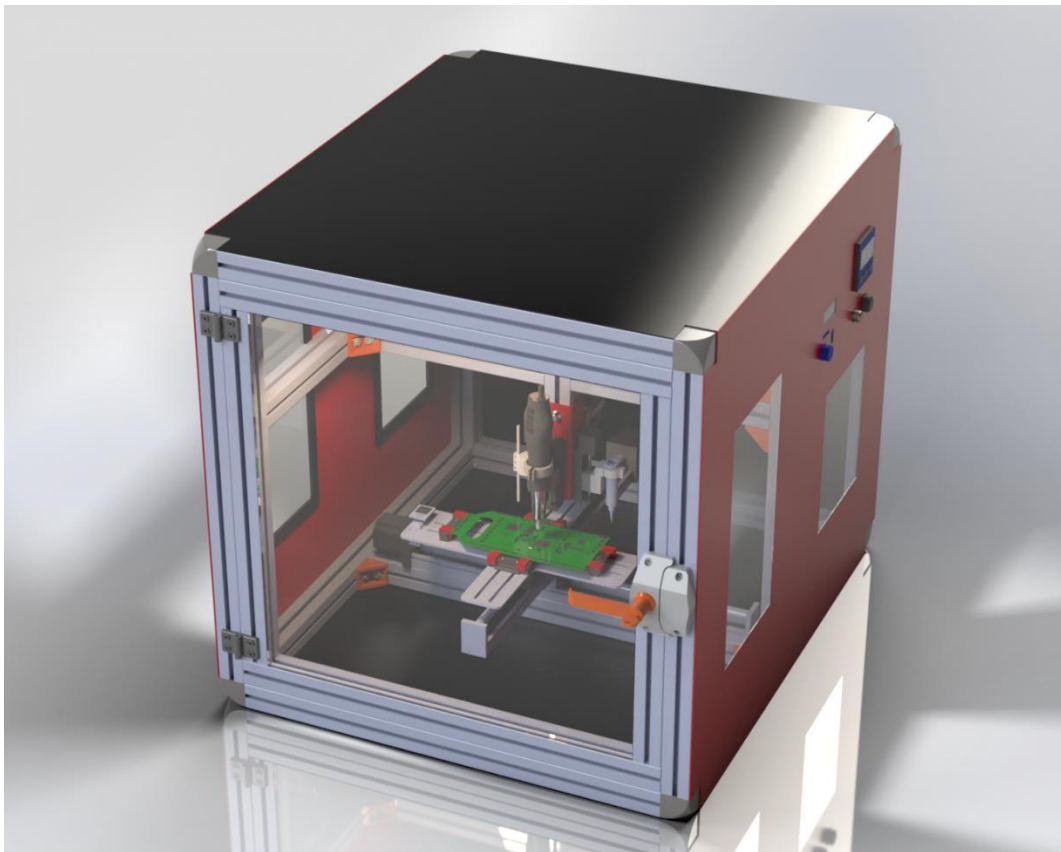
Joonis 3.22. Alumiinium profiilidest raam koos tööriistade- ja töölauakoostuga.

Elektroonika jaoks projekteeriti alusplaat S235 terasest läbimõõduga 2mm, mis toetub alumiiniumprofiilist tugistruktuurile. Samm-mootori juhtmoodulid asetati 3D-prinditavasse karp. Karpide disain võimaldas neid omavahel ühendada ja karpide jada algusesse kinnitada 60mm läbimõõduga ventilaator, eesmärgiga jahutada lülitusintegraale. Samm-mootorite juhtmoodulid karpide jadas ja elektroonika paigutus alusplaadil joonisel 3.23.



Joonis 3.23. Vasakul samm-mootorite juhtmoodulid karpide jadas, paremal elektroonika paigutus alusplaadil.

Viimasena projekteeriti seadme korpus 2mm S235 lehtmestallist. Korpusesse disainiti avad, kuhu paigaldatakse pleksiklaasid, et oleks paremini näha masina sees toimuvat ja avad, et saaks kontrollida kuumaõhupuhuri ja mahajootekolvijaama manuaalselt. Lisaks projekteeriti seadmele alumiiniumprofiilidest uks, mis kinnitub raami külge *MiniTec* poolt pakutavate hingedega. Ukse fikseerimiseks kasutati sama tootja ukseingi süsteemi. Ukse profiilidesoonmesse kinnitub ukseava kattev pleksiklaas. Prototüüp eelnevate elementidega, kuhu on lisatud korpus ja uks on joonisel 3.24.



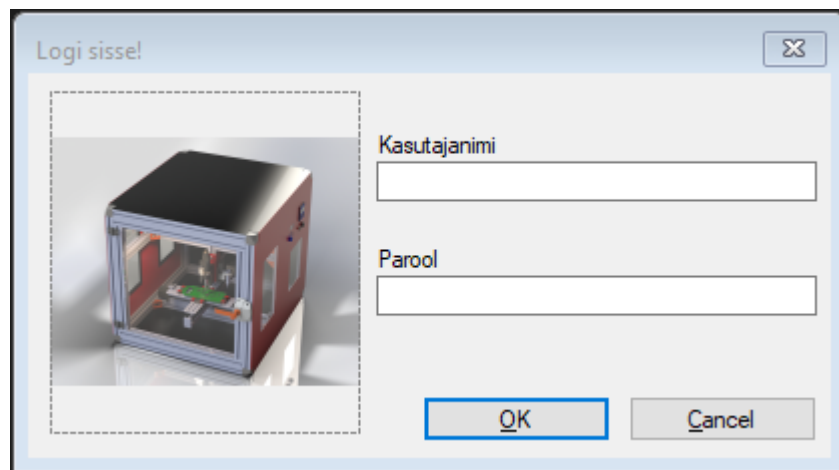
Joonis 3.24. Prototüüp eelnevate elementidega, kuhu lisatud korpus ja uks.

Prototüübi esimese versiooni disain oli selleks hetkeks valmis ja sai alustatud tootmisjooniste tegemisega.

3.3. Tarkvara

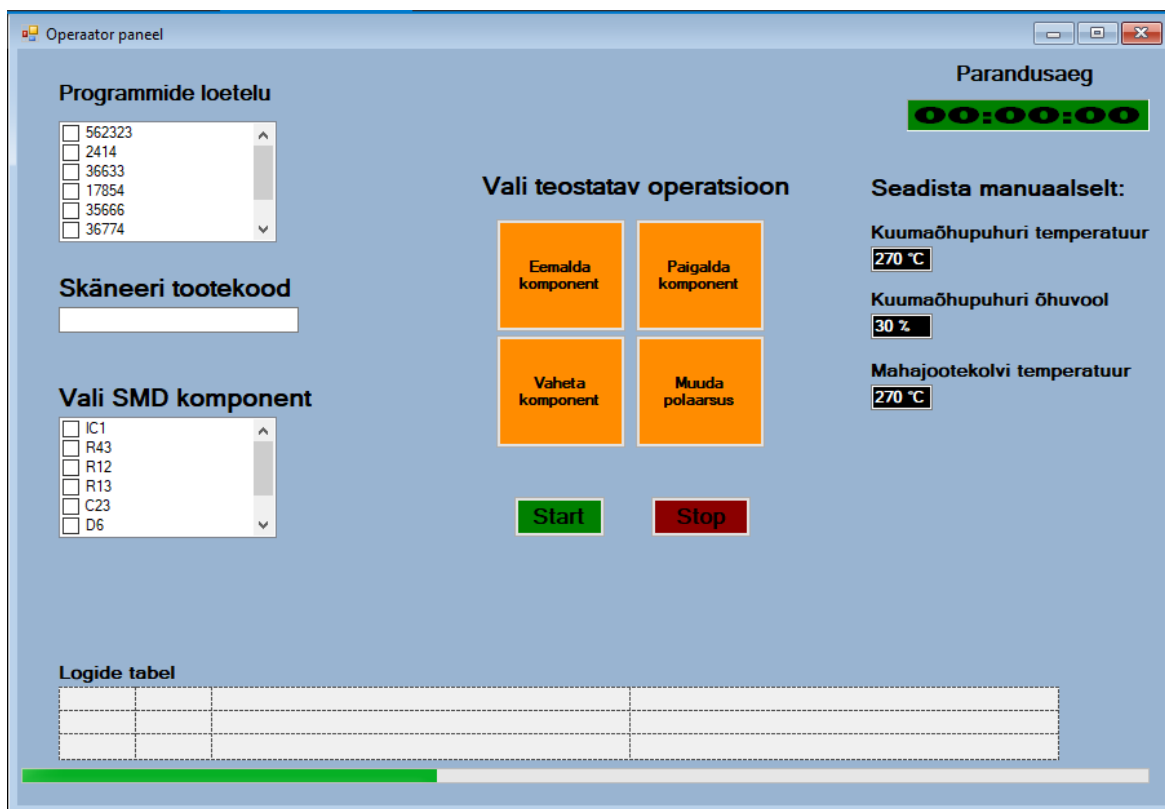
3.3.1. Kasutajaliides

Kasutajaliidese rakendus tehti *visual studio* versioon 15.9.5 tarkvaraga. Rakenduse käivitamisel avaneb kõigepealt kasutaja autentimise paneel, kus siis saab sisse logida kas inseneri või operaatori kasutajaga. Sisselogimise paneel joonisel 3.25.



Joonis 3.25. Sisse logimise paneel.

Operaatori paneelis on näha programmide loetelu, kus operaator saab vaadata kõikide toodete nimekirja, millele insener on teinud programmid. Programmi valimine käib toote ribakoodi skaneerimisega RS232 protokolliga kasutatava skänneriga. Järgnevalt läheb nähtavaks komponendi valimise lahter, kus saab valida parandatava komponendi positsiooni. Siis saab valida operatsiooni, mida komponendiga on vaja teha. Kui kõik on valitud, kuvab programm kuumaõhupuhuri ja mahajootekolvi seadistused, mis on eelnevalt toote- ja komponendipõhiselt defineeritud ja operaator sätib need paika masina külje peal asuvatest nuppudest. Viimaks sisestab operaator komponendid komponendialusele ja vajutab start-nuppu. Operaatori paneeli all kuvatakse parandusoperatsiooni protsessi kulgemist. Logide tabel näitab sisestatud informatsiooni ja salvestab ka selle tekstifaili. Operaatori paneel joonisel 3.26.



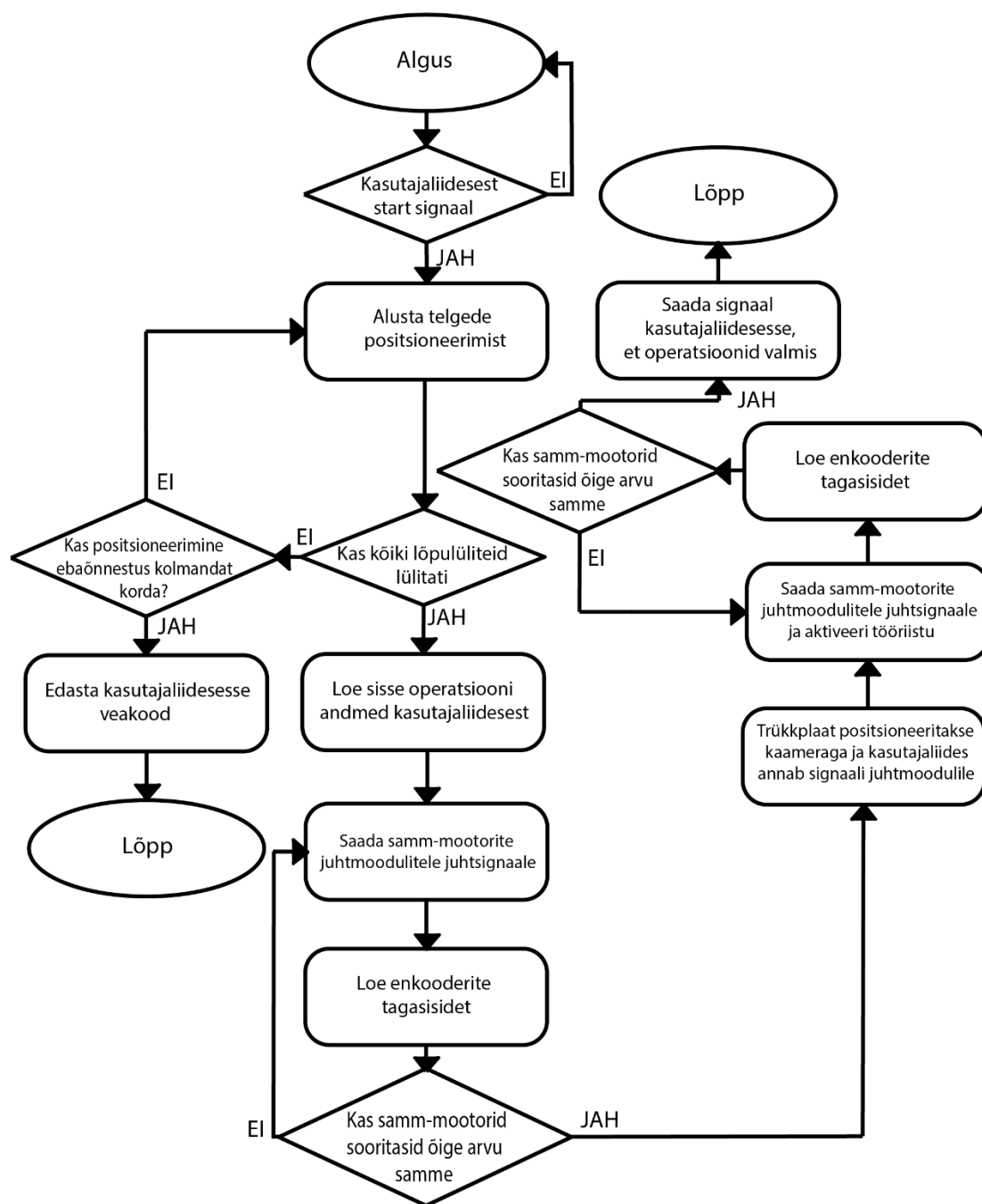
Joonis 3.26. Operaatori paneel.

3.3.2. Juhtmooduli tarkvara

Juhtmooduli tarkvara ülesandeks on suhelda kasutajaliidesega, saata juhtsignaale samm-mootorite juhtmoodulile ja lülitada tööriistad.

Seadme juhtmoodul saab kasutajaliidesest signaali, et vajutati start-nuppu, mille tulemusena algab telgede positsioneerimine, kus masin liigutab telgedel paiknevad osad vastu lõpulüliteid, et seade saaks aru, kus mingi osa paikneb. Kui positsioneerimine ebaõnnestub, proovitakse uuesti kolm korda. Peale kolmandat korda saadetakse kasutajaliidesesse veateade ja töö seiskub. Positsioneerimise õnnestumisel töö jätkub ja masin loeb sisse kasutajaliidesest operaatori sisestatud andmed. Järgnevalt saadab juhtmoodul signaale samm-mootorite juhtmoodulitele, et tuvastada kaameraga trükkplaadi referentsipunktid ja positsioneerida plaadi koordinaadid. Iga kord, kui samm-mootoritele saadetakse täitmiseks mingi sammude arv, siis loetakse ka enkooderi tagasisidet ja kui samme tehti liiga vähe/palju, siis see korrigeeritakse. Peale positsioneerimist teostatakse paranduse operatsioonid kasutajaliidesest saadud andmete põhjal. Parandus operatsioonide käigus

juhitakse samm-mootorite juhtmooduleid ja lülitatakse tööriistasid. Kui kõik operatsioonid on valmis, saadetakse kasutajaliidesesse lõpetamise signaal. Seadme juhtmooduli tarkvara loogikaskeem joonisel 3.27.



Joonis 3.27. Seadme juhtmooduli tarkvara loogikaskeem.

Tarkvara tegemiseks kasutatakse *keil µVision* keskkonda, kus kirjutatakse tarkvara C-keeles. Samas keskkonnas kompileeritakse erinevad C-koodiosad tervikuks kuuteistkümnendkoodi failiks ja kasutades *ST-Link V2* programmeerit kirjutatakse see seadistatud mälu aadressidele.

4. EDASIARENDUSED

4.1. Esimene prototüüp

Esimest prototüüpi katsetakse tootmises ja võrreldakse parandusaegu manuaalsete parandajatega. Prototüübiga üritatakse leida võimalikke investoreid ideesse investeerima.

Samm-mootorite juhtmooduli plaati projekteeritakse suuremaks ja tehakse sinna avad, kuhu saab paigaldada suurema ruumalaga jahutuselemendi.

Jootepasta doseerimiseks ei kasutata enam vaakumpumpa. Selle asemel paigaldatakse samm-mootori ja kruvilati mehhanism, mis avaldab survet süstla kolvile. Seda sellepärast, et saaks jootepastat doseerida suurema täpsusega. Vaakumpumba puhul peab arvestama sellega, et kui selle mootor seiskub, siis süstla otsast tuleb veel jootepastat peale, kuni rõhk alaneb.

4.2. Teine prototüüp

Esimese prototüübi eesmärk oli tõestada, et on võimalik teostada koostatud trükkplaatide parandust automaatselt ja saada sellega rahastust ideele. Teise prototüübi ehitamise eesmärk on projekteerida seade nii, et seda saaks kasutada tootmisliini ühe osana. Seadet saab kasutada ka eraldiseisvalt, kui ühte otsa paigutatakse terve toodete alus ja masin võtab neid sisse automaatselt. See oleks väga kasulik SMA liini otsas, kus tuvastati viga ja on vaja mitmetel toodetel teostada parandus. Et automaatne lahendus oleks veel praktilisem tuleks disainida automaatne komponentide söötur, kus seade järjest võtab lindilt komponente.

KOKKUVÕTE

Projekti käigus saadi järjest kinnitust juurde, et seade, mida lõputöö käigus ehitati, on vajalik ja sellele oleks nõudlust.

Juhtmoodulite projekteerimine oli edukas. Juhtmoodulid valmisid juba sügisel, mis jättis aega, et neid testida erinevate meetoditega. Seadme juhtmooduli disainis esines ainult üks viga, kus polaarsuskaitse p-kanali väljatransistori jalad said sümbolile valesti märgitud, kuid see viga parandati trükkplaadil lihtsa vaevaga. Trükkplaadil tehti ka täiendus, kus relele mähiste jalgadele lisati diood, kaitsmaks mikrokontrolleri väljundeid. Testides vigu välja ei tulnud, mis näitas, et valitud komponendid olid õiged ja täitsid oma eesmärgi.

Mehaanika projekteerimisel võttis eeltöö suurel hulgal aega. Oli vaja valida õiged seadme osad ja lugeda läbi palju erinevaid andmelehti. Kui tellitud osad kohale jõudsid, siis veenduti, et need toimivad ja mõõdeti need üle. Mõõtetulemuste põhjal koostati tellitud osadest 3D mudelid ja projekteeriti seadme mehaanika valmis.

Kasutajaliidese operaatori paneeli disain ja funktsionaalsus valmis *viusal studio* programmis. Seadme juhtmooduli tarkvaralised sõlmed said paika pandud ja nende põhjal koostati loogikaskeem.

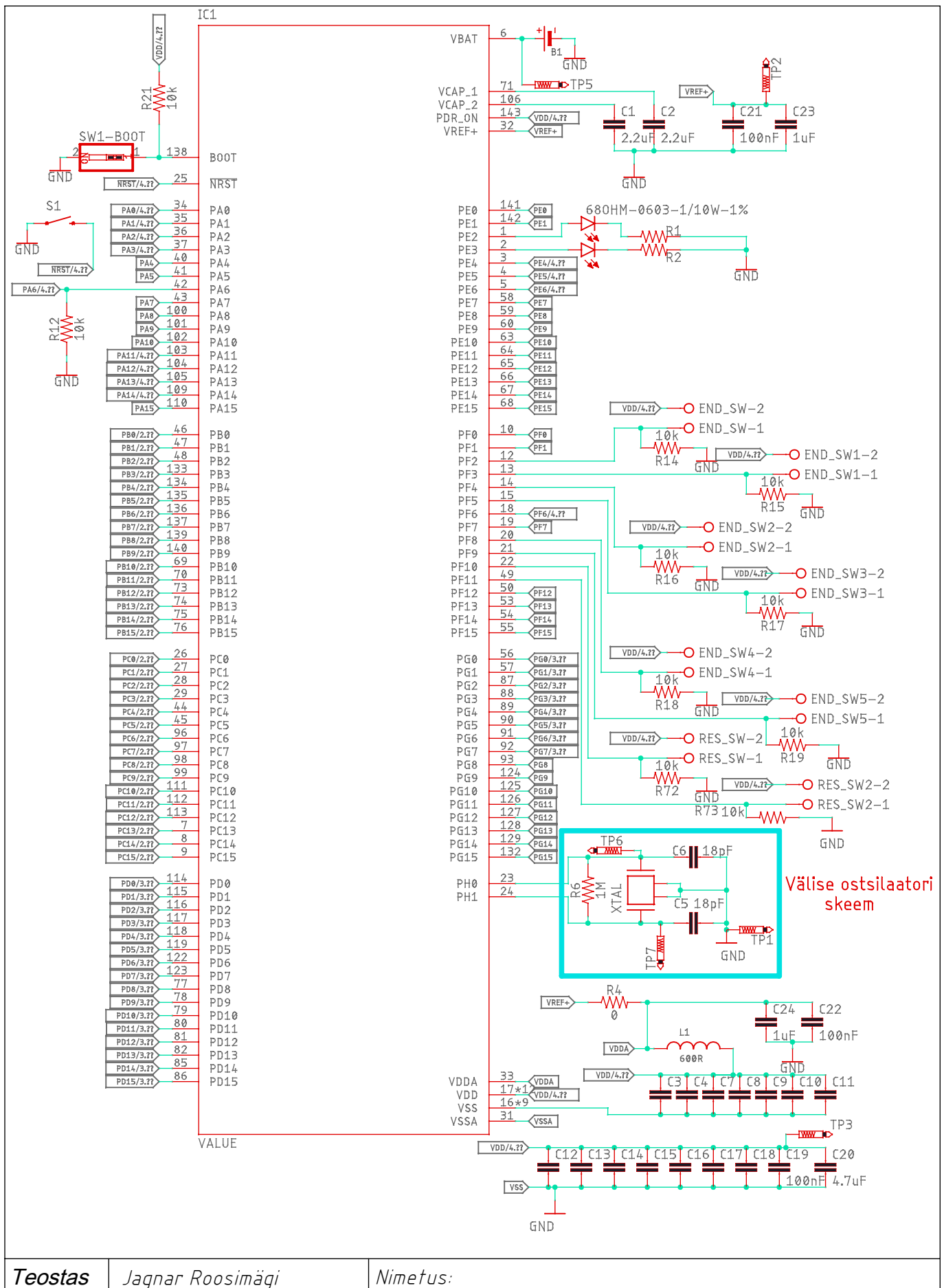
Lõputöö käigus saavutati püstitatud eesmärk ja jõuti nii kaugele, et elektroonika on valmis, mehaanika on projekteeritud ja tarkvaralised lahendused on kaardistatud.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] *Farnelli* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.farnell.com/datasheets/2308533.pdf?_ga=2.202111505.1297198555.1588150523-1893271554.1578586945. [Kasutatud September 2019].
- [2] *Autodesk* programm. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.autodesk.com/products/eagle/free-download>. [Kasutatud September 2019].
- [3] *Snapeda*, komponentide teekide veebi keskkond. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.snapeda.com/home>. [Kasutatud September 2019].
- [4] *Farnelli* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.farnell.com/datasheets/2724462.pdf?_ga=2.240690499.1107119027.1588262621-1893271554.1578586945. [Kasutatud September 2019].
- [5] *Farnelli* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.farnell.com/datasheets/2118306.pdf?_ga=2.51619305.1107119027.1588262621-1893271554.1578586945. [Kasutatud September 2019].
- [6] *Microchip* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/mic5219.pdf>. [Kasutatud September 2019].
- [7] *Farnelli* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.farnell.com/datasheets/1484480.pdf?_ga=2.50455017.1107119027.1588262621-1893271554.1578586945. [Kasutatud September 2019].
- [8] *Farnelli* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.farnell.com/datasheets/1883675.pdf?_ga=2.116388550.1794779197.1588451313-1893271554.1578586945. [Kasutatud September 2019].
- [9] *STMicroelectronics* andmeleht. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/16208.pdf>. [Kasutatud September 2019].
- [10] *Takaya* testsüsteemide tutvustus. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.takaya-itochu.com/technology/>. [Kasutatud Mai 2020].
- [11] *Minitec* alumiiniumprofiilide kataloog. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.minitec.de/en/products/profile-system/profiles/profile-series-45/profile-45-x-45>. [Kasutatud Jaanuar 2020].

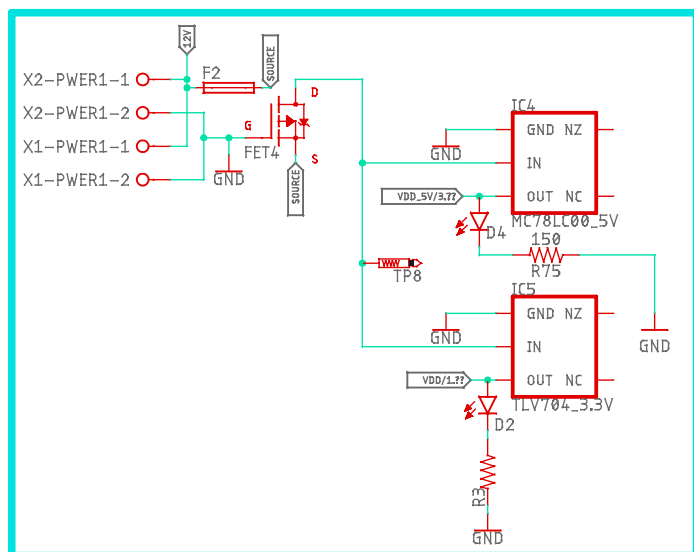
LISAD

Lisa A. Elektroonika tehnilised joonised

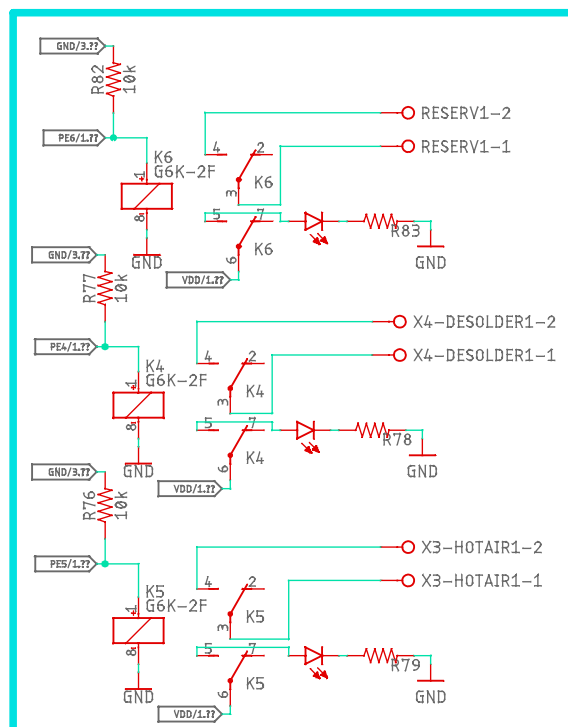


Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus:	Seadme juhtmooduli mikrokontroller
Kontrollis	Indrek Virro		
Kinnitas	Indrek Virro		
EMÜ TS-TN		Leht: 1/3	Tähis: TN 20/160431 A 01 01 S

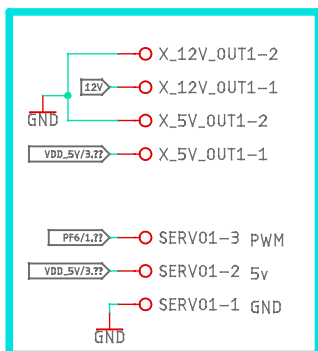
Mikrokontrollerite toiteskeem



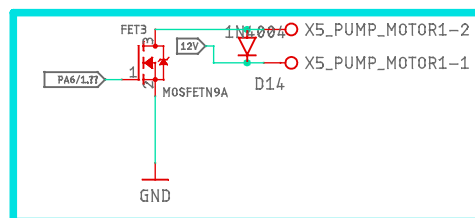
Releelülituste skeem



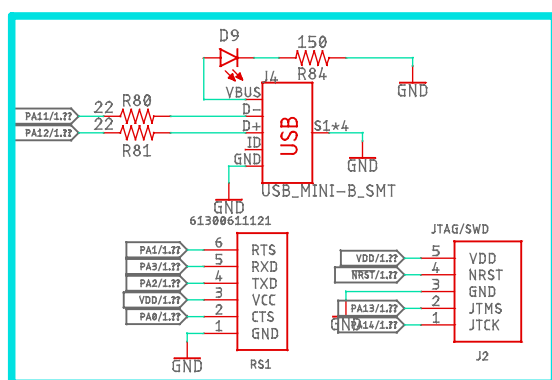
Servo- ja toite väljundid



Vaakumpumba juhtimis-
skeem

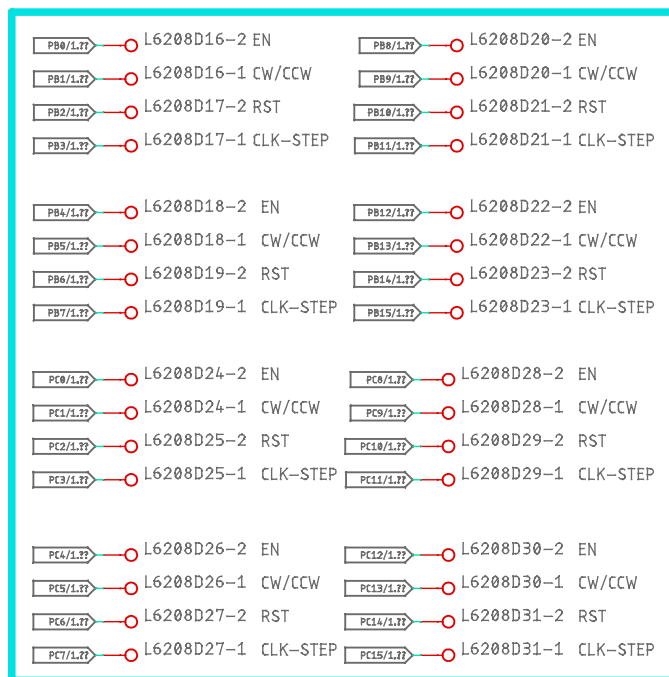


kommunikatsioonipistikute
skeem



Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Seadme juhtmooduli osad	
Kontrollis	Indrek Virro		
Kinnitas	Indrek Virro		
EMÜ TS-TN		Leht: 2/3	Tähis: TN 20/160431 A 01 01 S

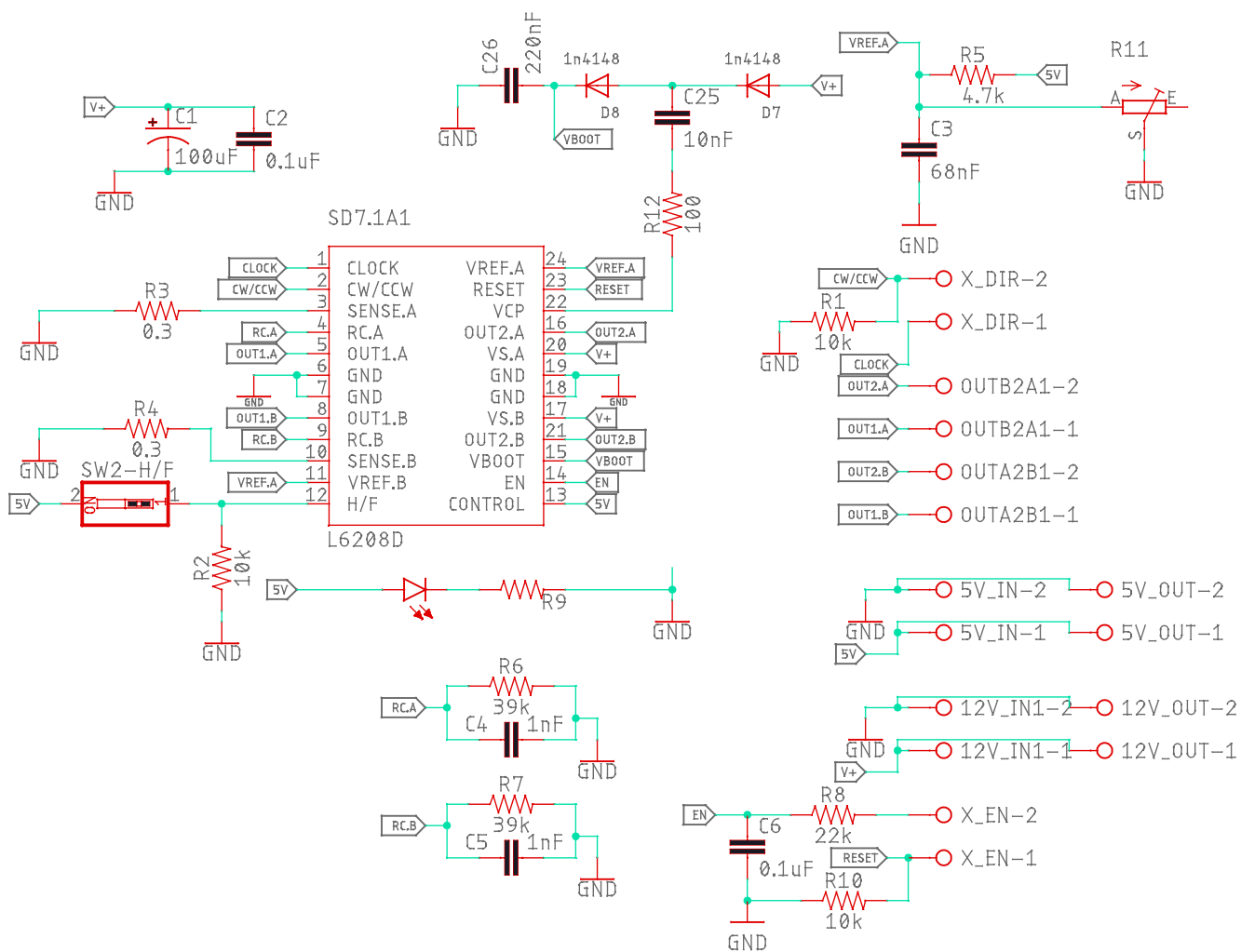
Väljundid samm-mootorite juhtmoodulitele



Enkooderite toide ja sisendid

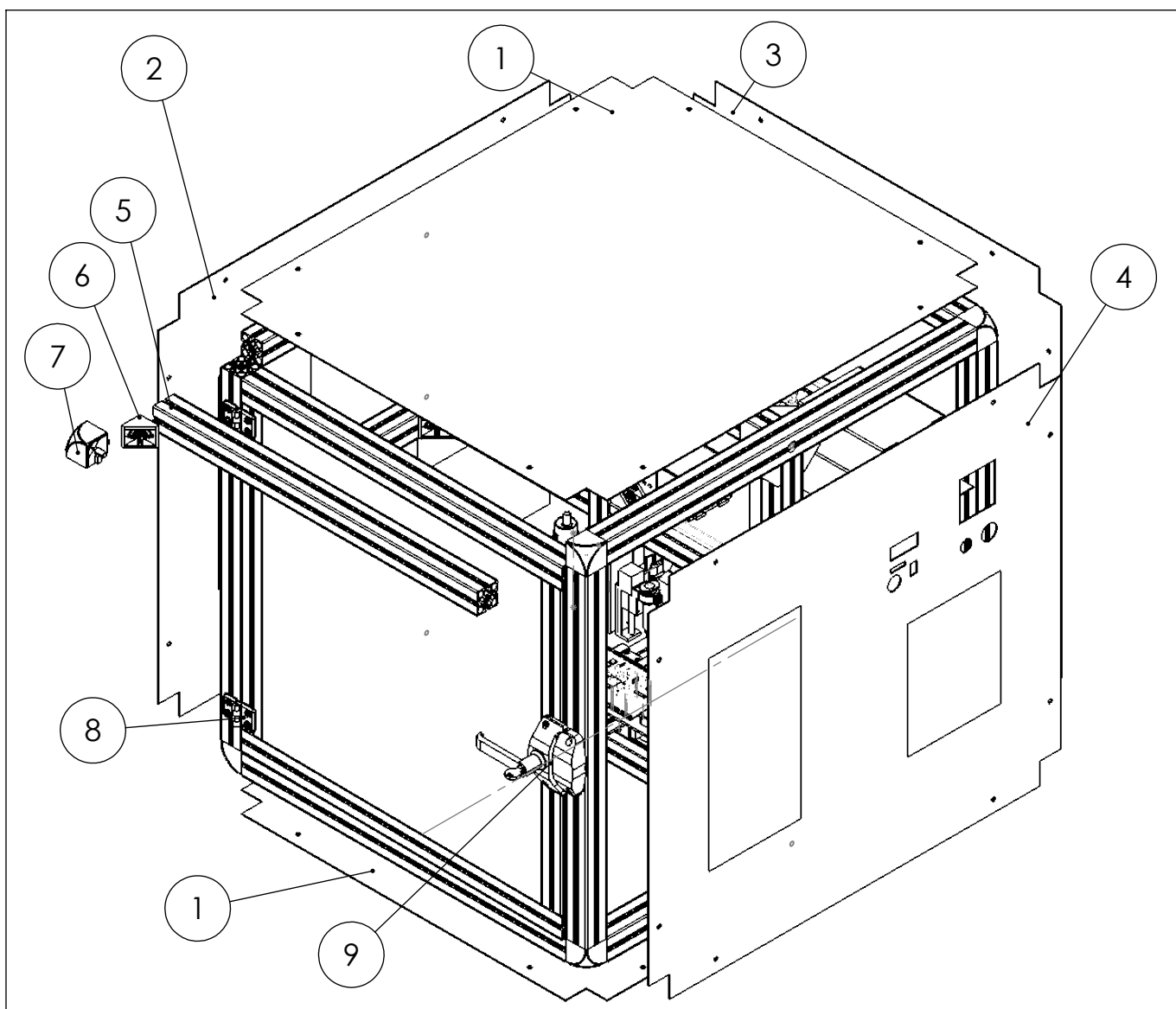


Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Väljundid samm-mootorite juhtmoodulile ja enkooderite toited ja sisendid	
Kontrollis	Indrek Virro		
Kinnitas	Indrek Virro		
EMÜ TS-TN		Leht: 3/3	Tähis: TN 20/160431 A 01 01 S

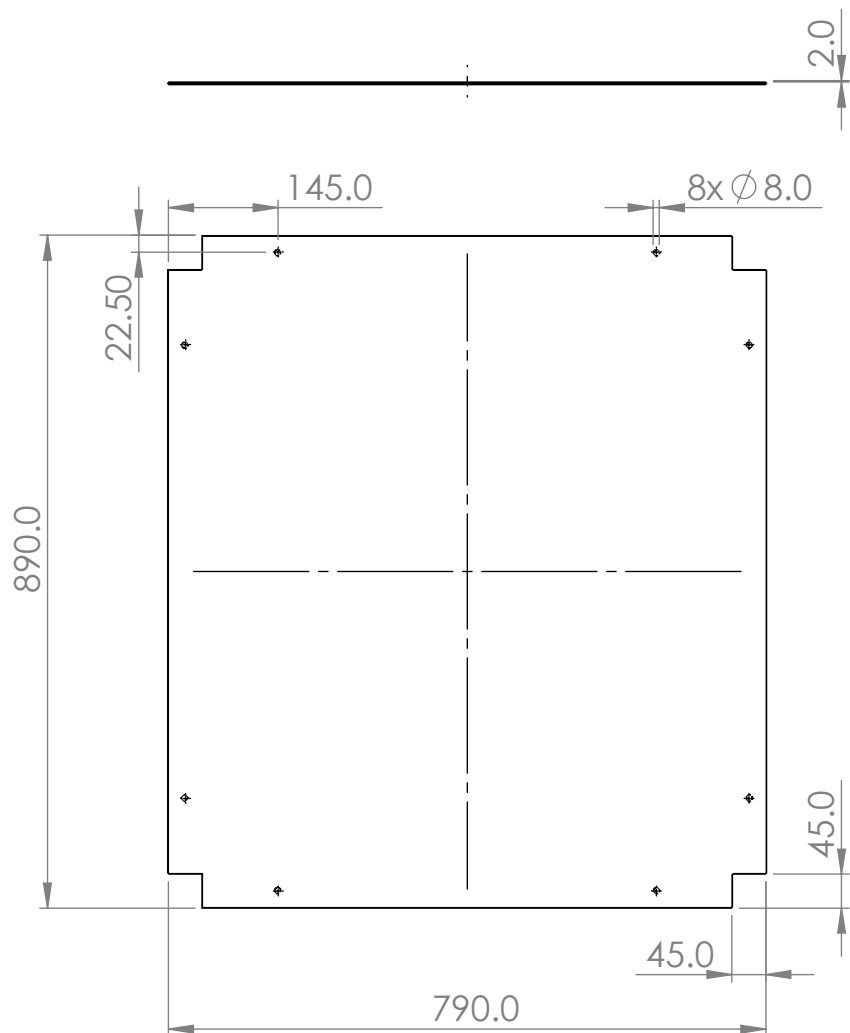


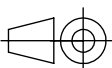
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Samm-mootorite juhtmoodul	
Kontrollis	Indrek Virro		
Kinnitas	Indrek Virro		
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 A 02 01 S

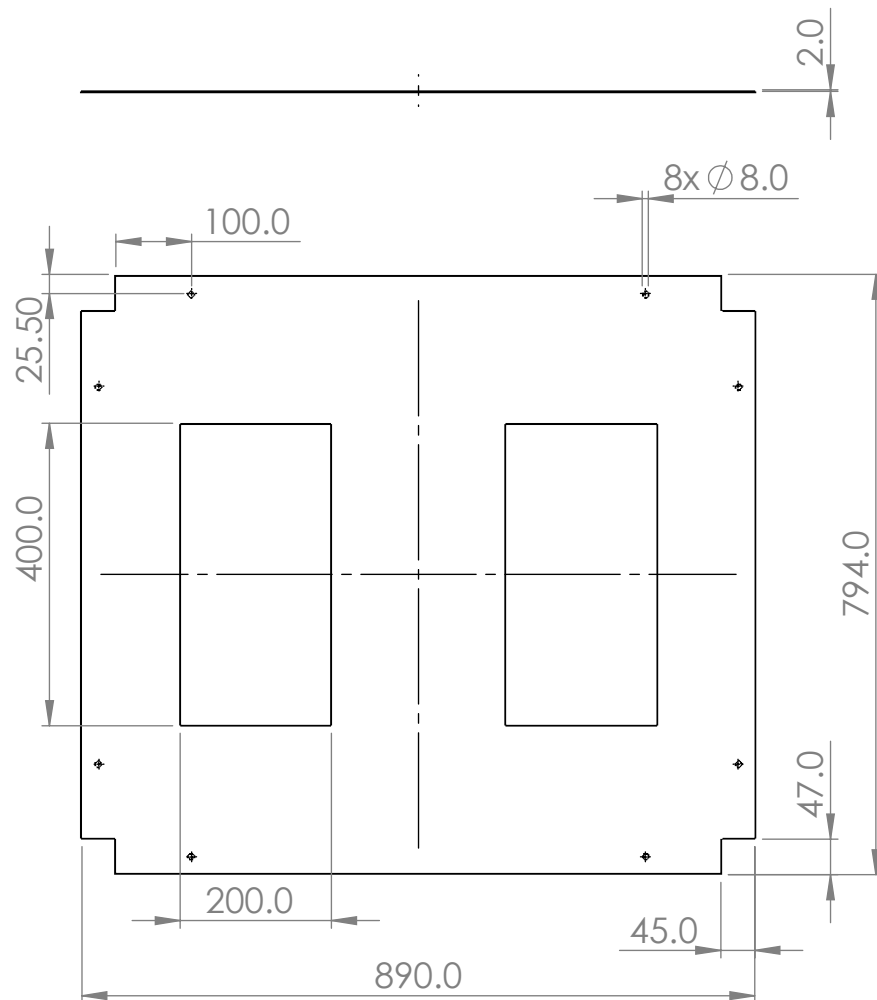
Lisa B. Mehaanika tehnilised joonised

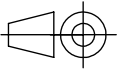


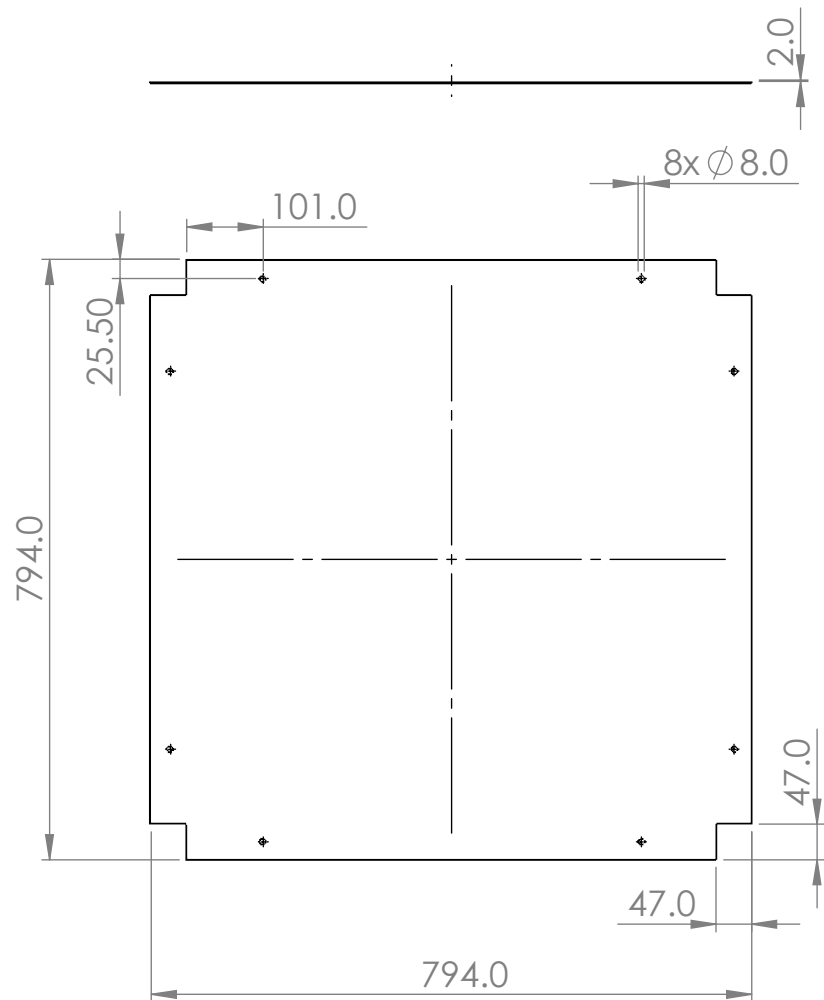
9		Ukeslink	21.0948/0	1	
8		Uksehing	21.1175/0	2	
7		Alumiiniumprofiili kolmik nurkühendus	21.2503/1	8	
6		Alumiiniumprofiili nurkühendus	21.1133/0	28	
5		45x45 alumiiniumprofiil	20.1006/0	25	
4		Parem paneel	TN 20/160431 B 01 04 D	1	Laserlõigata (DXF)
3		Tagumine paneel	TN 20/160431 B 01 03 D	1	Laserlõigata (DXF)
2		Vasak paneel	TN 20/160431 B 01 02 D	1	Laserlõigata (DXF)
1		Alumine/pealmine paneel	TN 20/160431 B 01 01 D	2	Laserlõigata (DXF)
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal:		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 71,7 kg	Mõõt 1:10
Teostas	Jagnar Roosimägi	Seadme korpus ja raam koost			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 01 00 K		



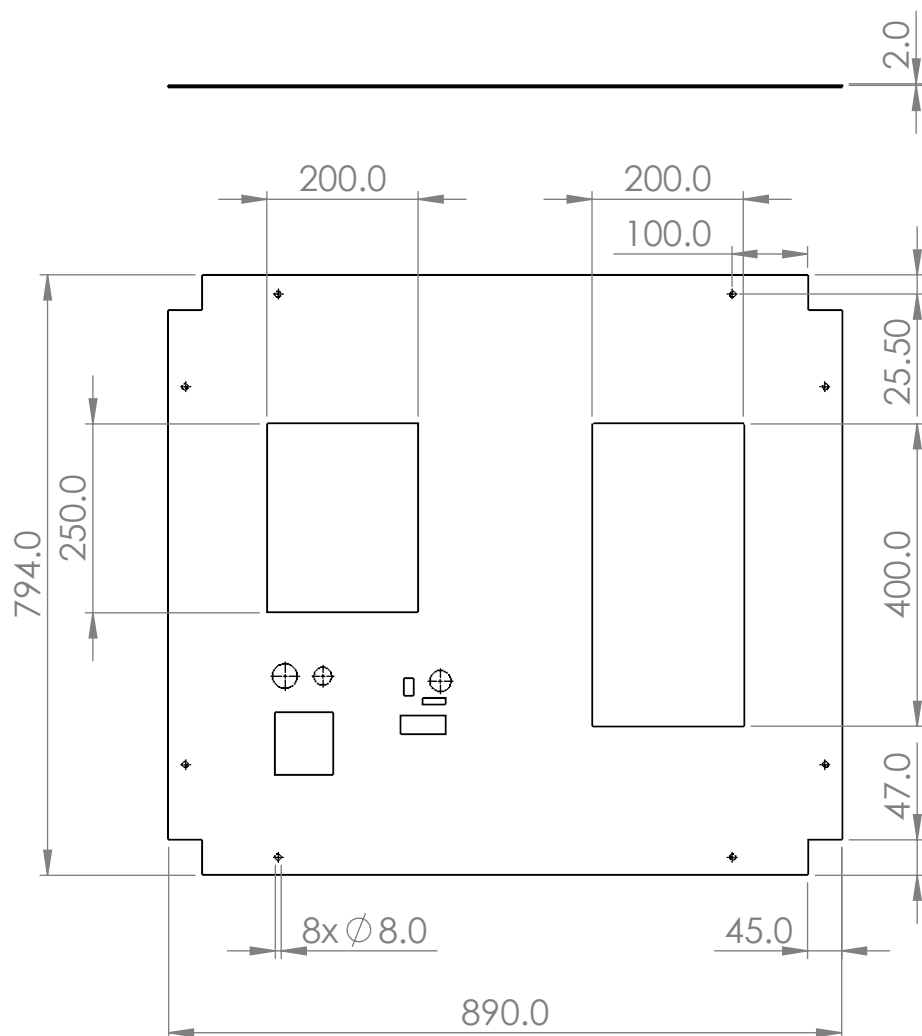
	Materjal: S235 lehtmets		Näitamata pühälbed: ISO 2768-m	Mass: 10 kg	Mõõt 1:10
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Alumine/pealmine paneel			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 01 01 D		



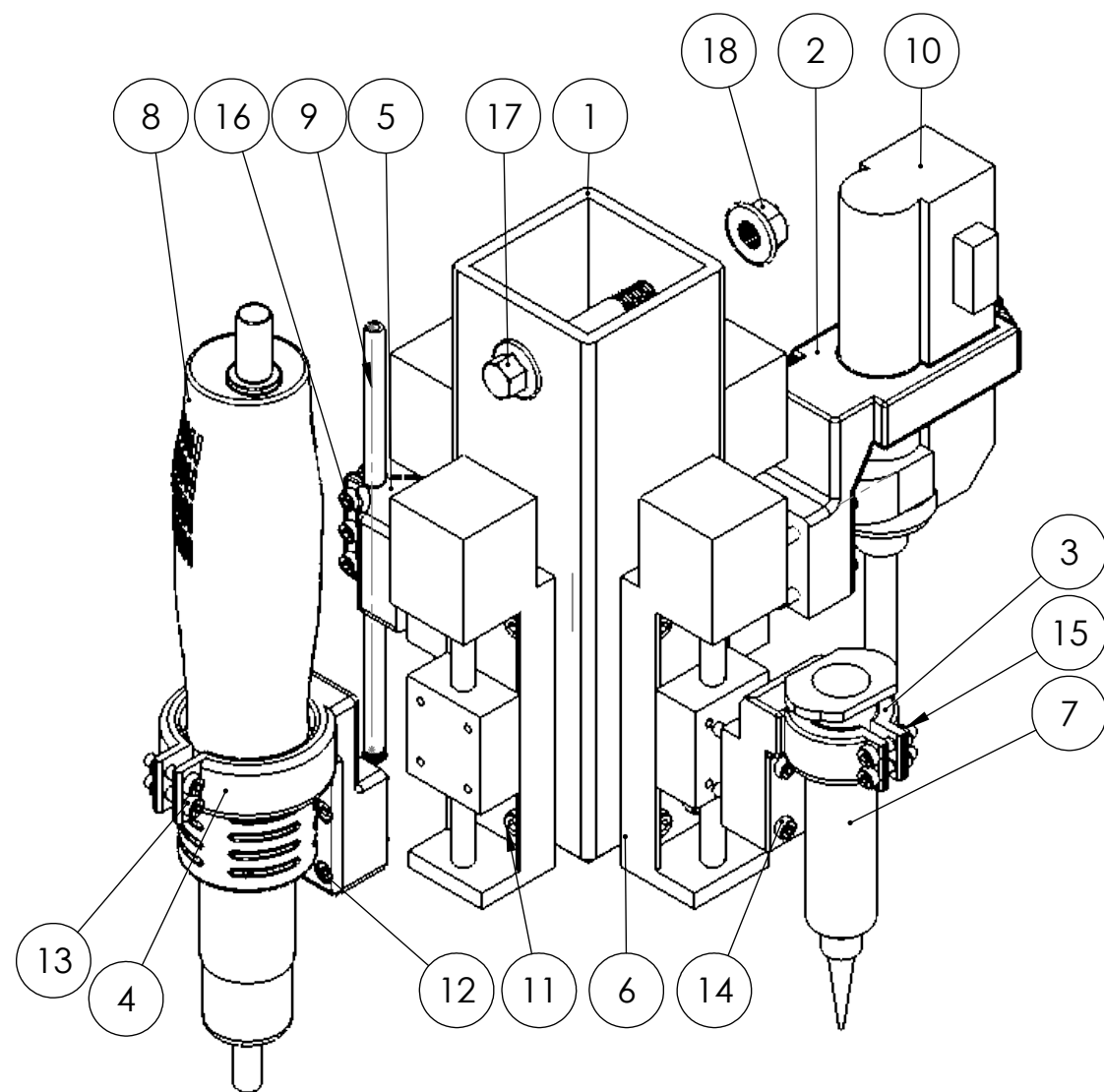
	Materjal: S235 lehtmets		Näitamata pühälbed: ISO 2768-m	Mass: 8,1 kg	Mõõt 1:10
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Vasak paneel			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 01 02 D		



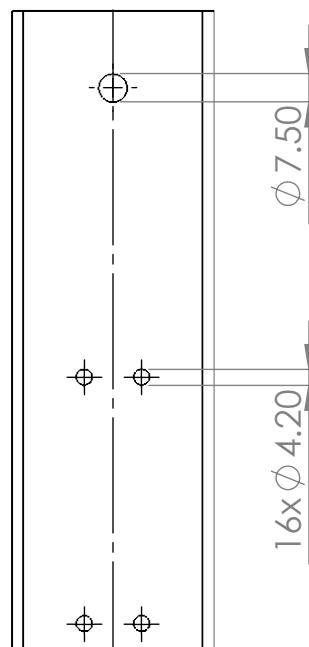
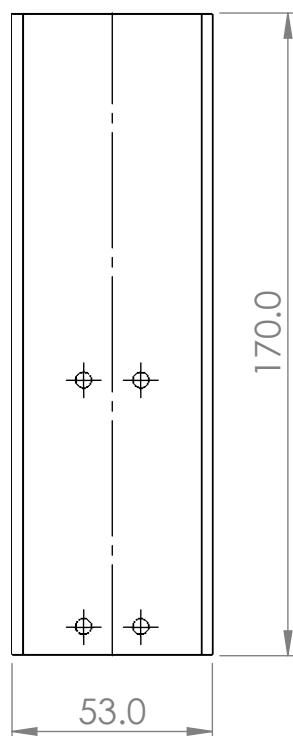
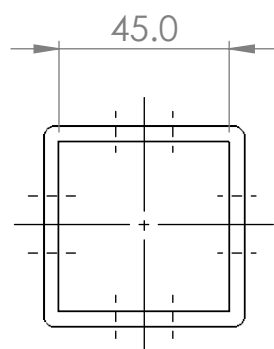
	Materjal: S235 lehtmets		Näitamata piirhõlbed: ISO 2768-m	Mass: 9,4 kg	Mõõt 1:10
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Tagumine paneel			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 01 03 D		

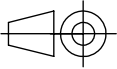


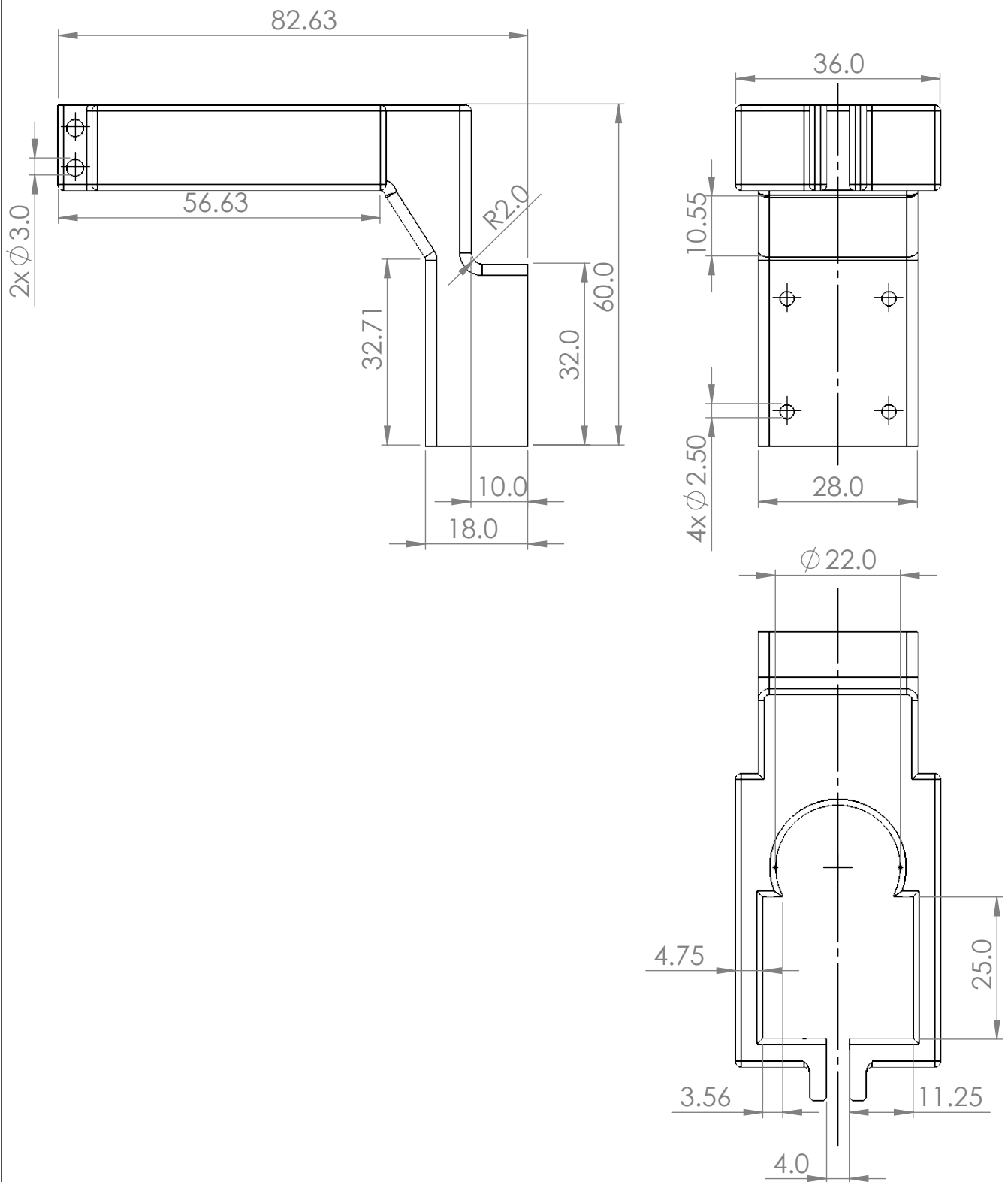
	Materjal: S235 lehtmets		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 8,5 kg	Mõõt 1:10
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Parem paneel			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 01 04 D		

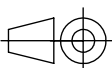


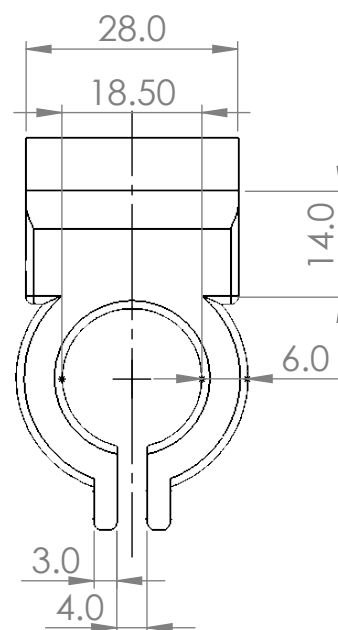
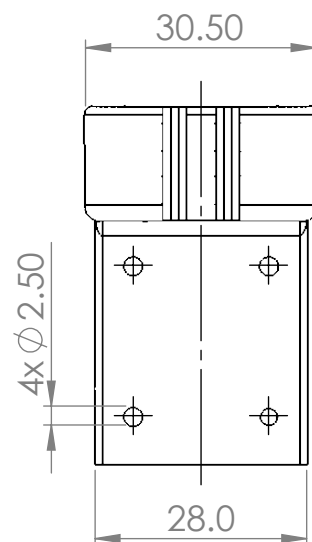
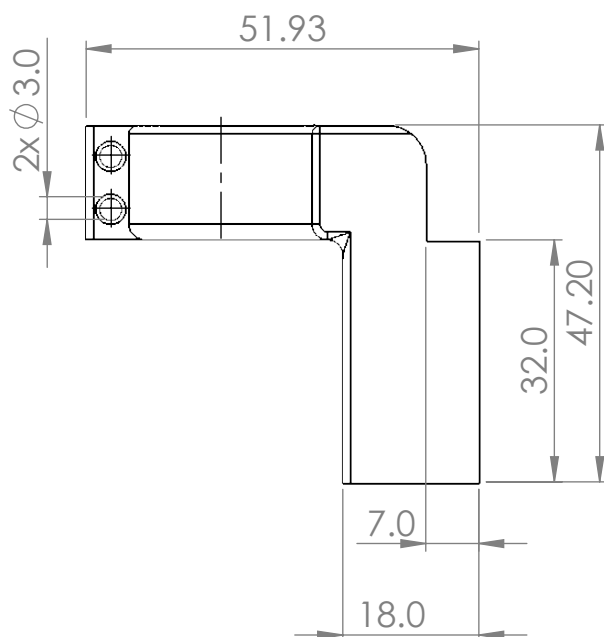
18		Mutter M8	ISO 4032 10 M8	1	
17		Polt M8x60	ISO 4762 8.8 M8x60	1	
16		Polt M3x10	ISO 4762 8.8 M3x10	3	
15		Mutter M3	ISO 4032 10 M3	9	
14		Polt M3x25	ISO 4762 8.8 M3x25	8	
13		Polt M3x16	ISO 4762 8.8 M3x16	10	
12		Polt M3x20	ISO 4762 8.8 M3x20	4	
11		Polt M4x10	ISO 4762 8.8 M4x10	16	
10		Mahajootekolb	162332257199	1	
9		vaakumtoru	223246550742	1	
8		Kuumaõhupuhur	282985723718	1	
7		Jootepastasüstal	332579124773	1	
6		Z-telje samm-mootori kruvilati koost	4000001460022	4	
5		Vaakumtoru hoidik	TN 20/160431 B 02 05 D	1	
4		Kuumaõhupuhuri hoidik	TN 20/160431 B 02 04 D	1	
3		Jootepastasüstla hoidik	TN 20/160431 B 02 03 D	1	
2		Mahajootekolvi hoidik	TN 20/160431 B 02 02 D	1	
1		Tööriistade kinnitus seadme külge	TN 20/160431 B 02 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 1,4 kg	Mõõt 1:2
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Tööriistade hoidikute koost			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 02 00 K		



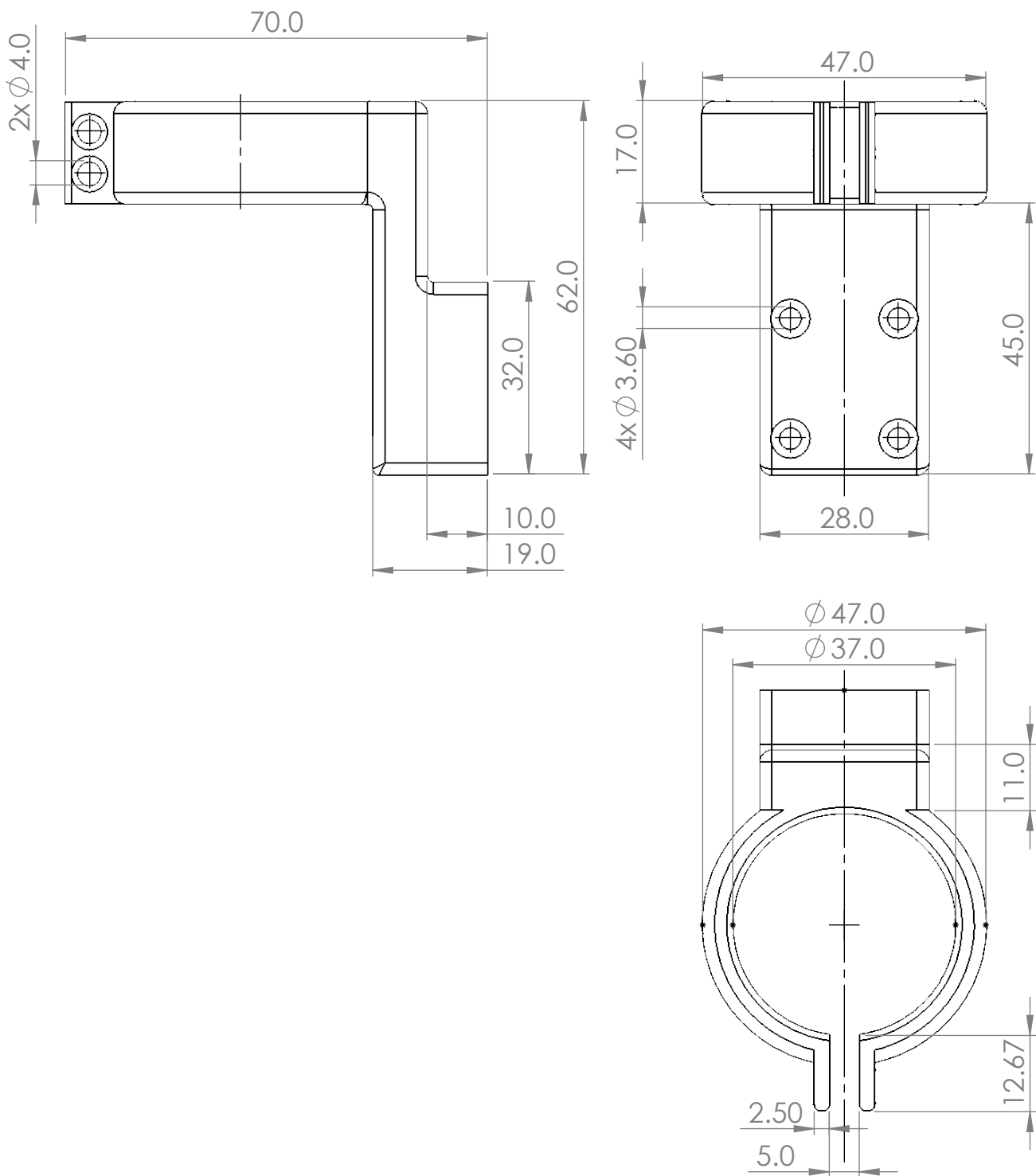
	Materjal: Alumiinium 6063		Näitamata piirhálbed: ISO 2768-m	Mass: 350 g	Mõõt 1:2
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Tööriistade kinnitus seadme külge			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 02 01 D		

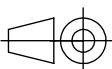


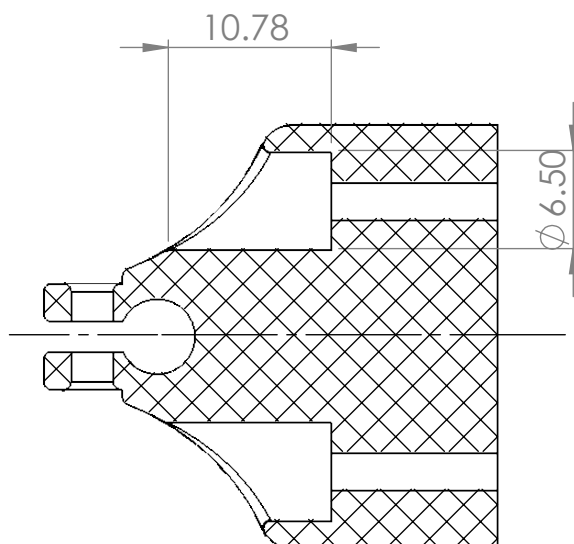
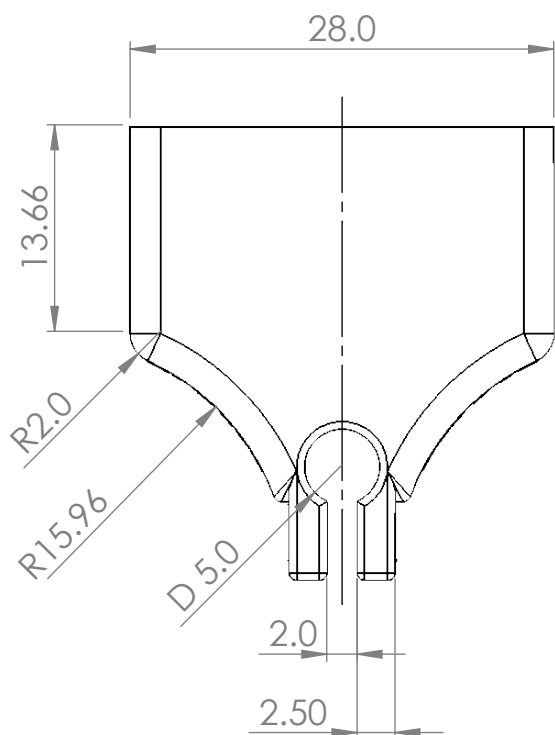
	Materjal: ABS		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 40 g	Mõõt 1:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Mahajootekolvi hoidik			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 02 02 D		



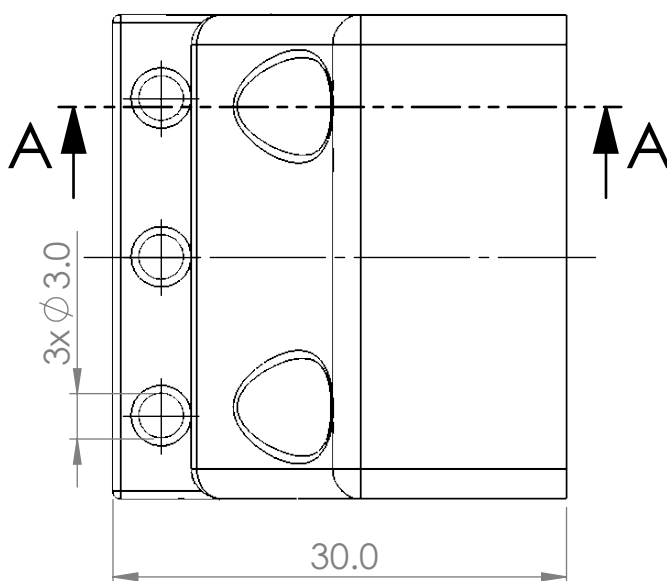
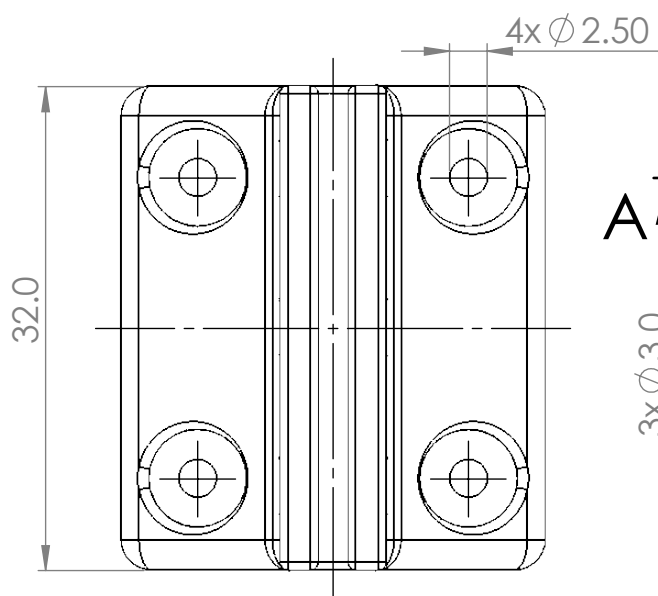
	Materjal: ABS		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 28 g	Mõõt 1:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Jootepastasüstla hoidik			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 02 03 D		

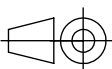


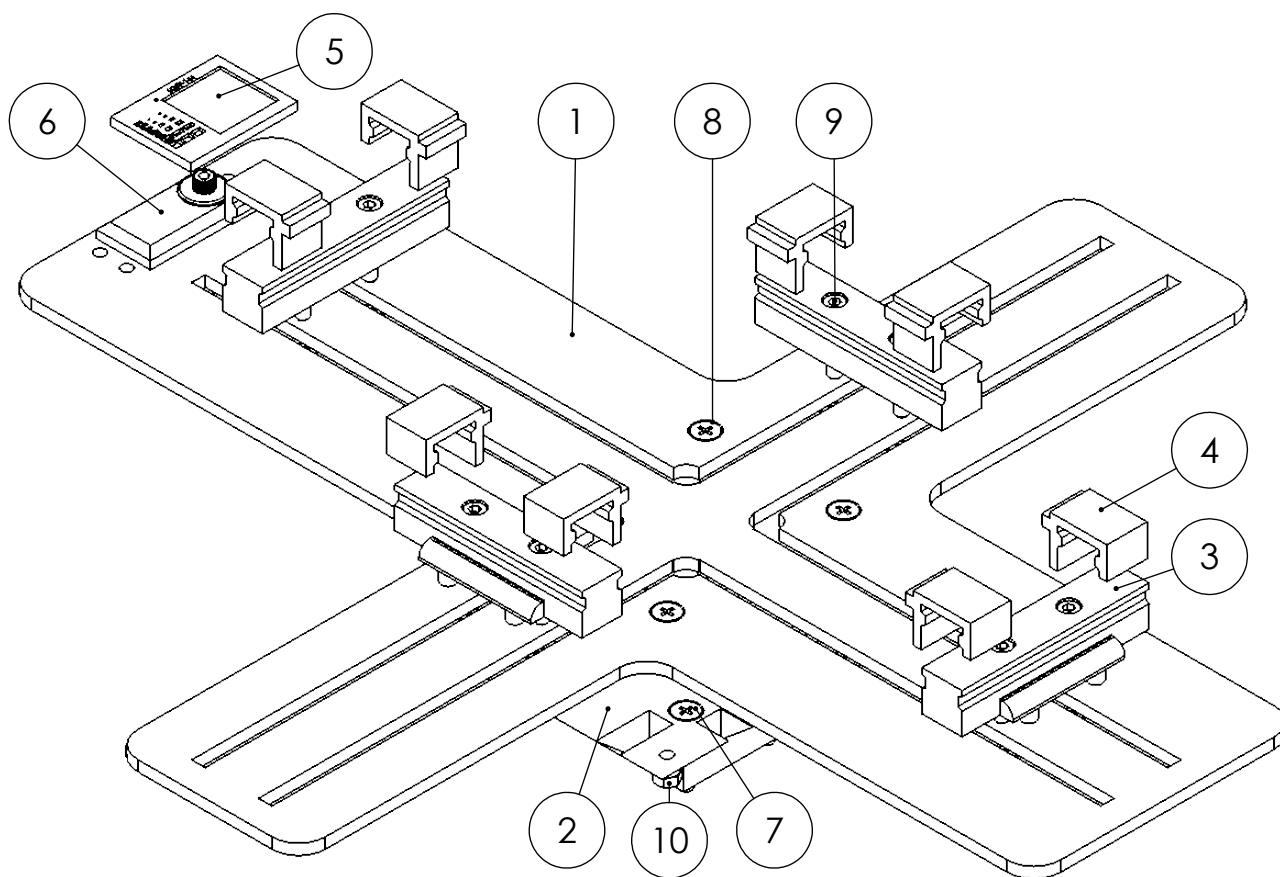
	Materjal: ABS		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 34 g	Mõõt 1:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Kuumaõhupuhuri hoidik			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 02 04 D		



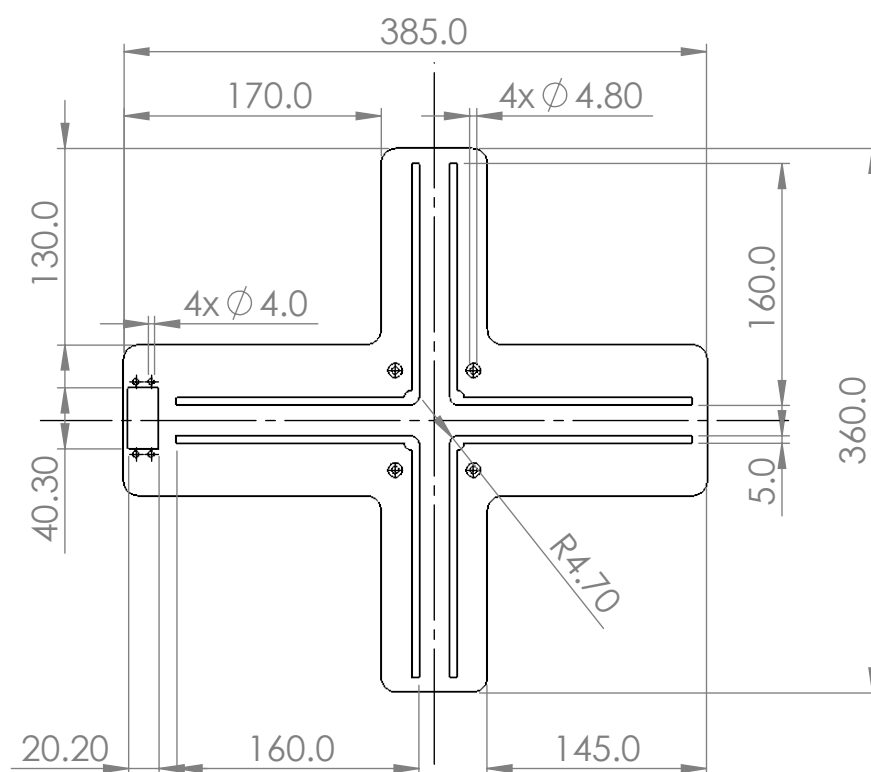
A-A

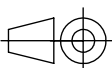


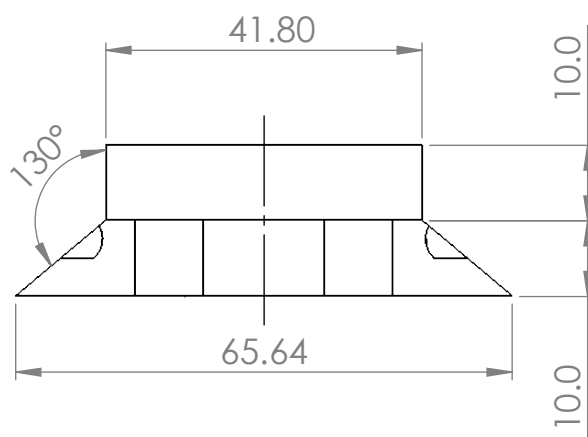
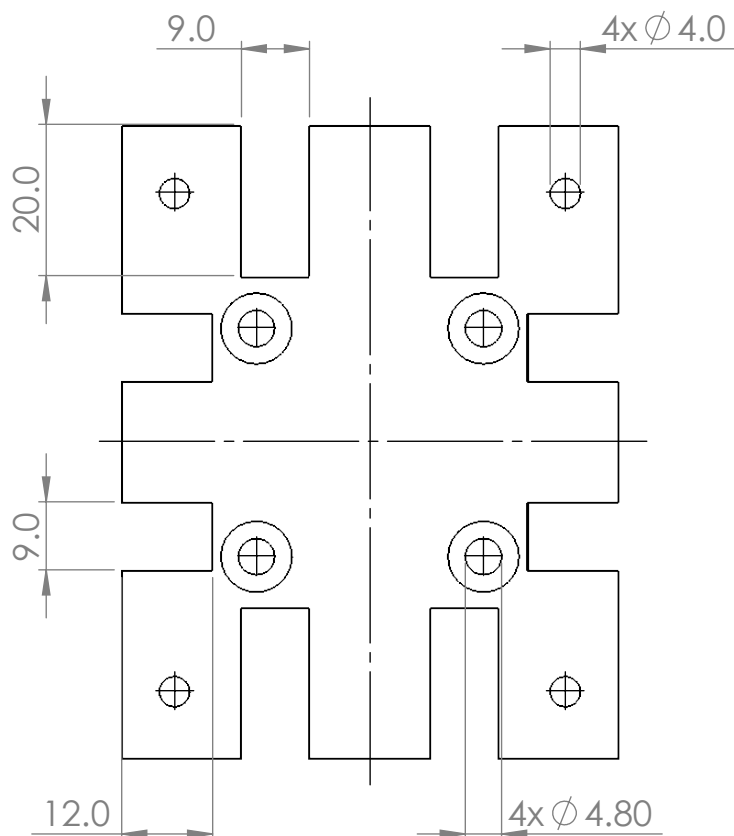
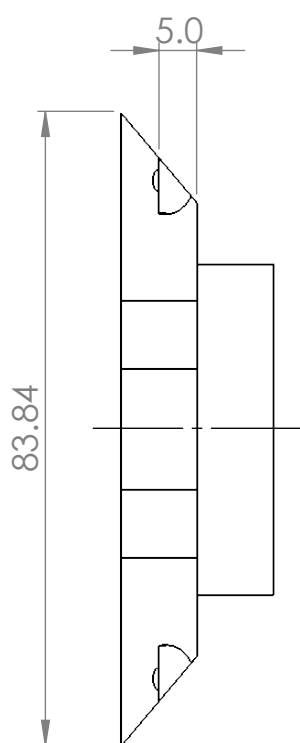
	Materjal: ABS		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 17 g	Mõõt 1:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Vaakumtoru hoidik			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 02 05 D		

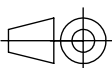


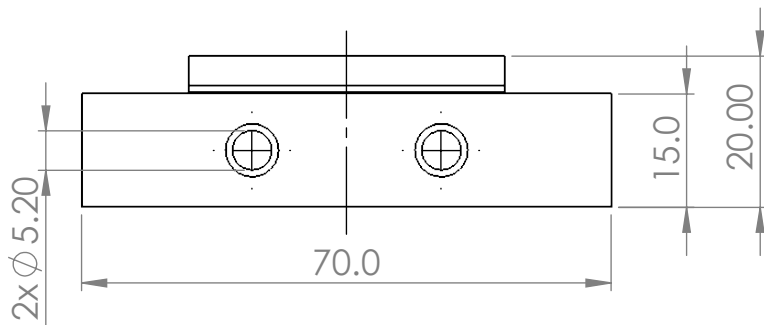
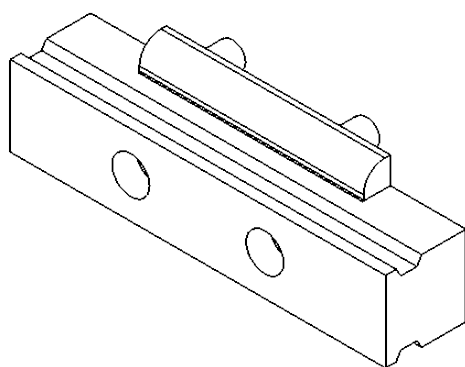
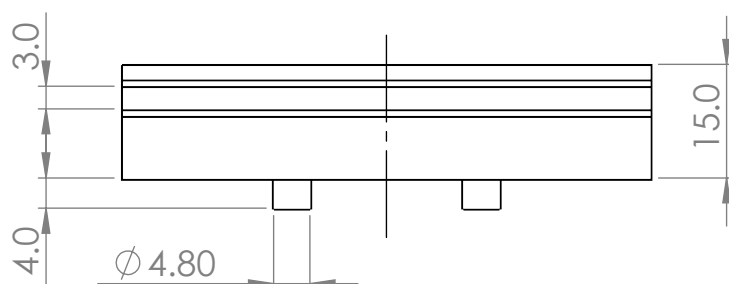
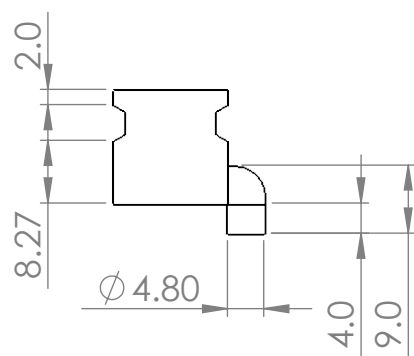
10		Mutter M4	ISO 4032 10 M 4	4	
9		Polt M4x20	ISO 4762 8.8 M4x20	8	
8		Polt M4x13	ISO 7046 4.8 PH M4x13	4	
7		Polt M4x20	ISO 7046 4.8 PH M4x20	4	
6		Servo mootor	3376598	1	
5		SMD komponentide alus	TN 20/160431 B 03 05 D	1	
4		Trükkplaadi kinnitus	TN 20/160431 B 03 04 D	8	
3		Töölaua liugur	TN 20/160431 B 03 03 D	4	
2		Töölaua kinnitus	TN 20/160431 B 03 02 D	1	
1		Töölaud	TN 20/160431 B 03 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal:		Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt
			ISO 2768-m	1,7 kg	1:2
Teostas	Jagnar Roosimägi	Töölaua koost			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht:	Tähis:		
		1/1	TN 20/160431 B 03 00 K		

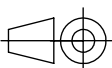


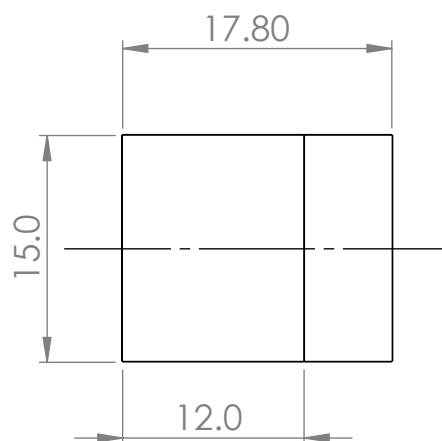
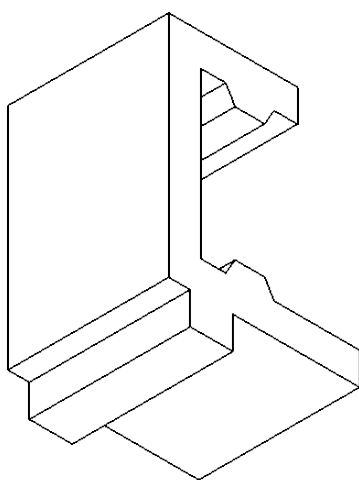
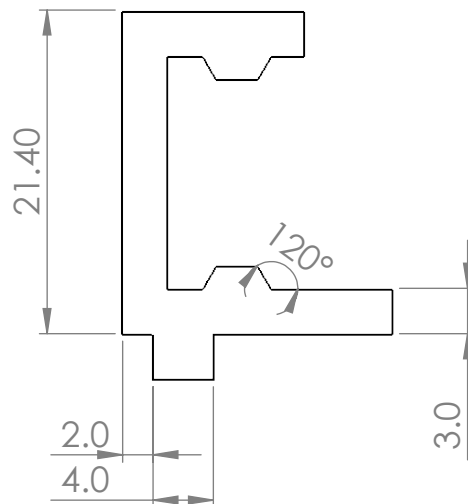
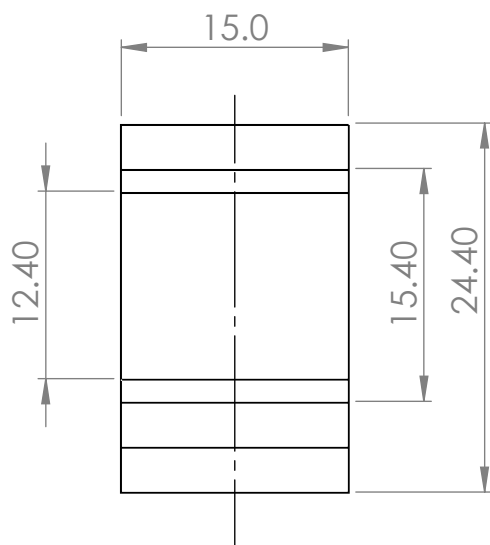
	Materjal: S235 lehtmetsall		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 1,5 kg	Mõõt 1:5
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Töölaud			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 03 01 D		

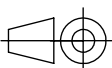


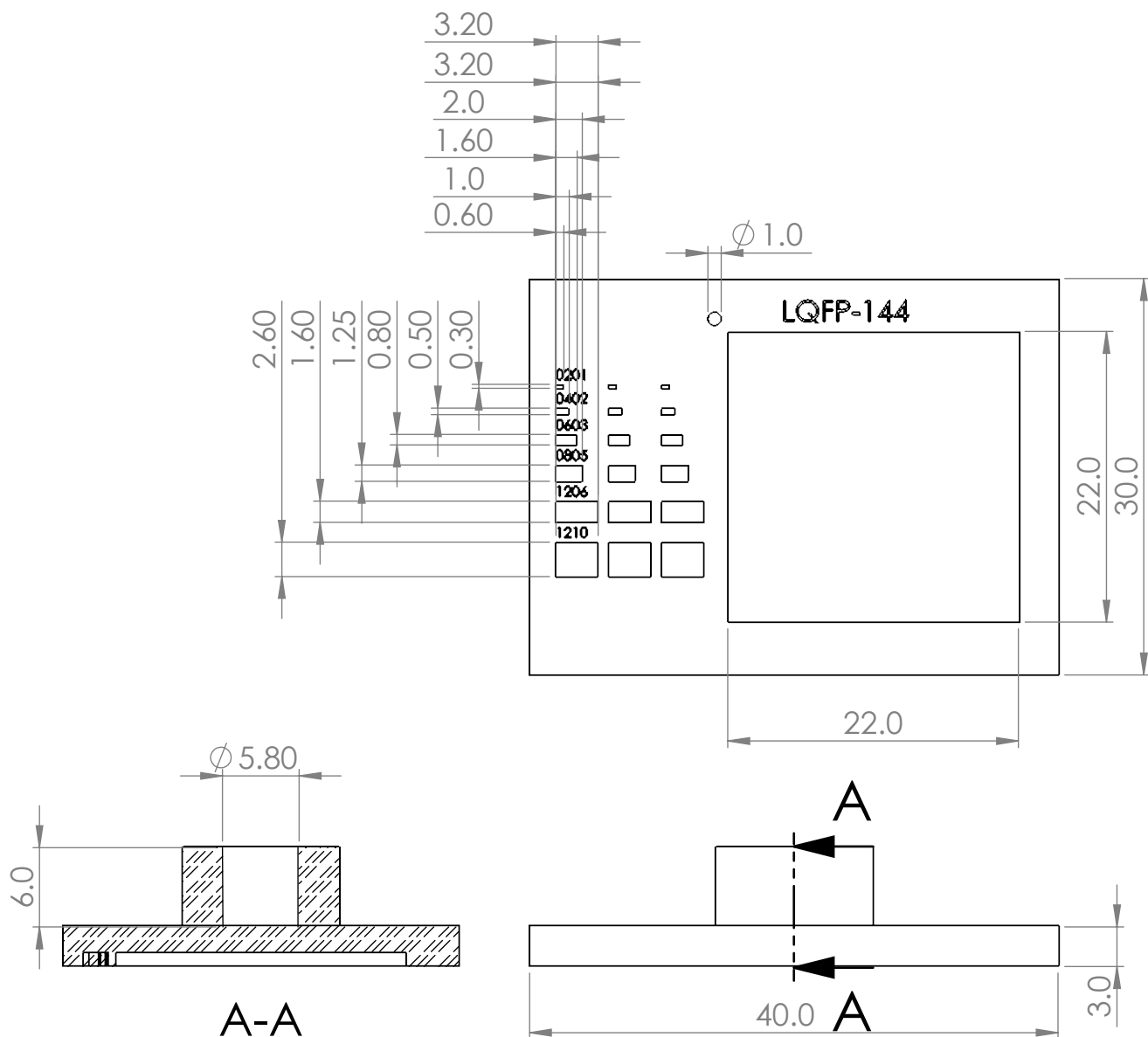
	Materjal: Alumiinium 6063		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 72 g	Mõõt 1:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Töölaua kinnitus			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 03 02D		



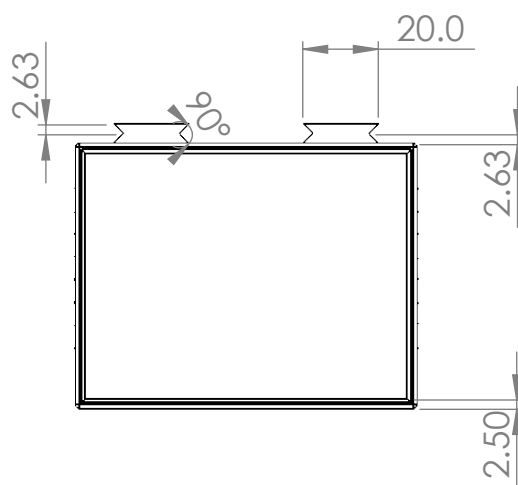
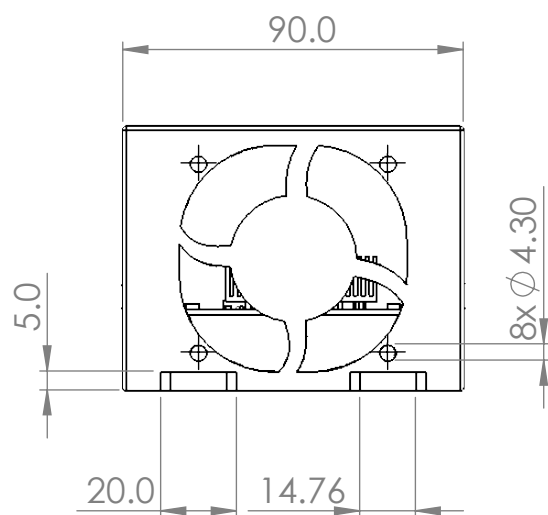
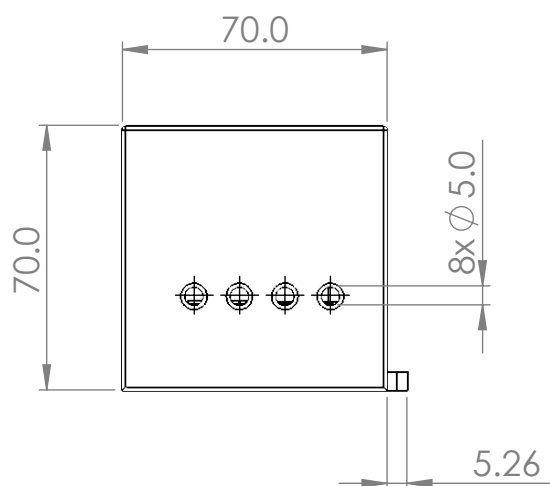
	Materjal: ABS		Näitamata piirhálbed: ISO 2768-m	Mass: 15,5 g	Mõõt 1:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Töölaua liugur			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 03 03 D		

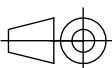


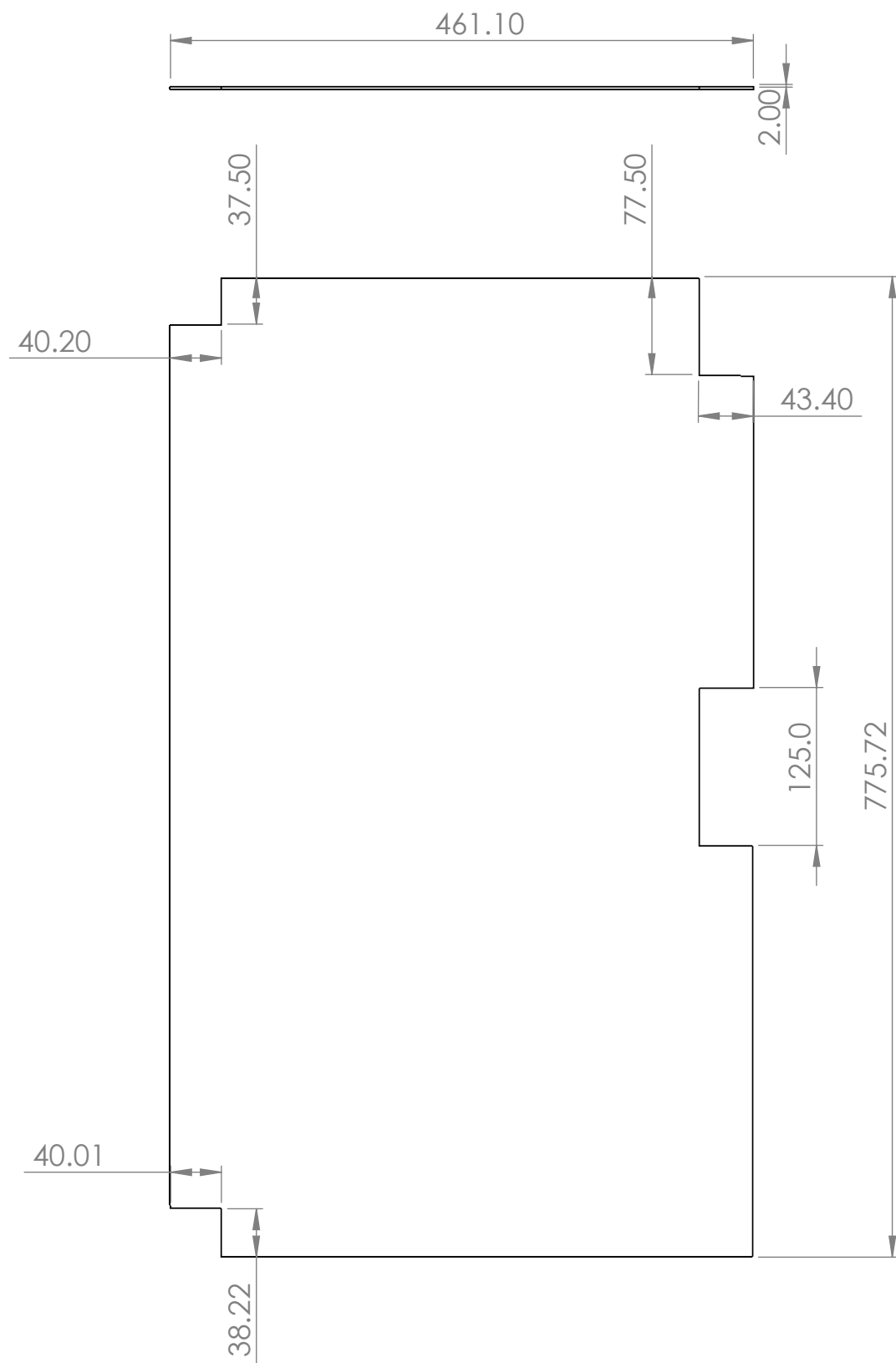
	Materjal: ABS		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 2,43 g	Mõõt 2:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Trükkplaadi kinnitus			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 03 04 D		

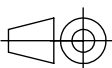


	Materjal: Alumiinium 6063		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 9,1 g	Mõõt 2:1
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: SMD komponentide alus			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 03 05 D		



	Materjal: PLA		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 113 g	Mõõt 1:2
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Samm-mootori juhtmooduli ümbriskarp			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 04 01 D		



	Materjal: S235 lehtmetsall		Näitamata piirhälbed: ISO 2768-m	Mass: 5,3 kg	Mõõt 1:5
Teostas	Jagnar Roosimägi	Nimetus: Elektroonika alusplaat			
Kontrollis	Indrek Virro				
Kinnitas	Indrek Virro				
EMÜ TS-TN		Leht: 1/1	Tähis: TN 20/160431 B 05 01 D		

Lisa C. Seadme juhtmooduli testitsükli C-kood

```

/* Muutujate defineerimine*/
int i;
int button;
button = 0;
i = 0;
while (1) /* Testitsükkel */ {
    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOF, GPIO_PIN_2) == 1)
        /* Ootab vajutusnupu lülitust */

    {
        button = 1; /* Salvestab lülituse muutujasse */
    } else {
        button = 0;
    }
    while (button == 1) {
        /* Kui vajutusnupp lülitab, siis käitab tsükli */
        while (i < 5000) {
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_SET);
            /* integraallülituse taaskäivitamine */
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
            /* Luba kasutada integraallülitust */
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_RESET);
            /* Samm-mootori pöörlemissuuna valik */
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_SET);
            /* Tsükli käivitumise indikaator valgusdiodid */

            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_SET);
            /* Samm-mootori taktsignaali, iga tõusva
               taktiga üks samm mootoril */
            HAL_Delay(1 / 10);
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_RESET);
            HAL_Delay(1 / 10);
            i++;
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
            /* Keelab kasutada integraallülitust,
               et mootorit ei liigutataks mõne
               parasiitsignaali tõttu */
        }
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);
        /* 1. Relee lülitus*/
        HAL_Delay(50);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_RESET);
        /* 1. Relee välja lülitamine*/
        HAL_Delay(1000);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_6, GPIO_PIN_SET);
        /* 2. Relee lülitus */
        HAL_Delay(50);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_6, GPIO_PIN_RESET);
        /* 2. Relee välja lülitamine */
        HAL_Delay(1000);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_SET);
        /* 3. Relee lülitus */
        HAL_Delay(50);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_RESET);
        /* 3. Relee välja lülitamine */
        HAL_Delay(1000);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_SET);
        /* Tsükli progressi indikaator valgusdiodid*/
        HAL_Delay(500);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_Delay(500);
    }
}

```

```

HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
HAL_Delay(500);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_6, GPIO_PIN_SET);
/* Vaakumpumba lülitamine sisse*/
HAL_Delay(4000);
HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_6, GPIO_PIN_RESET);
/* Vaakumpumba lülitamine välja*/
HAL_Delay(5000);

while (i > 0) {
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_SET);
    /* integraallülituse taaskäivitamine */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
    /* Luba kasutada integraallülitust */
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_SET);
    /* Samm-mootori pmissuuna valik */

    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_SET);
    /* Samm-mootori taktsignaali, iga tõusva
       taktiga üks samm mootoril */
    HAL_Delay(1 / 10);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_11, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_Delay(1 / 10);
    i--;
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
    /* Keelab kasutada integraallülitust,
       et mootorit ei liigutataks mõne
       parasiitsignaali tõttu */
    button = 0; /* vajutusnupu lülituse lugeja väärtus nulli, et tsükel
seisma jääks */
}
}
}

```

Lisa D. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Jagnar Roosimägi,

(autori nimi)

sünniaeg 28.07.1995,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Autonoomne pindliitekomponendi trükkplaadi robotiseeritud ümbertöötlemiserakk,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Indrek Virro,

(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)